



ESTUDO COMPARATIVO DE NOVAS ALTERNATIVAS EM MOBILIDADE URBANA: TECNOLOGIA MAGLEV-COBRA HTS E TECNOLOGIA VLT

Daniel da Costa Azevedo

Mariane Martins de Carvalho

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Prof. Armando Celestino Gonçalves Neto, D.Sc.

Rio de Janeiro

Dezembro de 2013

ESTUDO COMPARATIVO DE NOVAS ALTERNATIVAS EM
MOBILIDADE URBANA: TECNOLOGIA MAGLEV-COBRA HTS E
TECNOLOGIA VLT

Daniel da Costa Azevedo

Mariane Martins de Carvalho

PROJETO DE GRADUAÇÃO APRESENTADO AO CURSO DE ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO DA ESCOLA POLITÉCNICA, UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE
JANEIRO, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE ENGENHEIRO.

Examinado por:

Prof. Armando Celestino Gonçalves Neto, D.Sc. (Orientador)

Prof. Richard Magdalena Stephan, Dr.-Ing.

Prof. Ismael da Silva Soares, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

DEZEMBRO DE 2013

Azevedo, Daniel da Costa

Carvalho, Mariane Martins de

Estudo comparativo de novas alternativas em mobilidade urbana: tecnologia Maglev-Cobra HTS e tecnologia VLT/
Daniel da Costa Azevedo e Mariane Martins de Carvalho. – Rio de Janeiro: UFRJ/ESCOLA POLITÉCNICA, 2013.

XIII, 52 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Armando Celestino Gonçalves Neto, D.Sc.

Projeto de Graduação – UFRJ / Escola Politécnica/
Curso de Engenharia de Produção, 2013.

Referências Bibliográficas: p.62 -64

1.Maglev2. VLT3. Mobilidade urbana

I. Neto, Armando Celestino Gonçalves . II Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia de Produção. III. Estudo comparativo de novas alternativas em mobilidade urbana: tecnologia Maglev-Cobra HTS e tecnologia VLT

Dedicamos este trabalho primeiramente a nossos pais, que nos proporcionaram e proporcionam todos os dias o apoio necessário para seguirmos trilhando esse caminho de sucesso. Eles são nosso exemplo a seguir e nosso porto seguro, sobretudo nas horas de indecisão.

Aos nossos avós, nossos segundos pais, pela dedicação e pelo grande carinho que têm para conosco.

Aos nossos irmãos, aqueles a quem vivemos pedindo conselhos e que muitas vezes são as melhores pessoas a quem podemos recorrer. Por tudo o que significam para nós, esperamos poder contar sempre com eles, e que eles contem sempre conosco.

Dedicamos, por fim, aos nossos colegas de faculdade, pela admiração que deles temos e pela falta que fará o convívio diário com cada um deles.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus por termos saúde, por nossas vidas e pelas oportunidades que ele nos garante todo dia. Quando surgem dúvidas no caminho, Ele aparece como a luz no fim do túnel. Confiaremos sempre em sua eterna sabedoria, e seremos sempre seguidores de sua procedência.

Gostaríamos de agradecer também às nossas famílias, que sempre nos suportaram em todas nossas decisões. Suportaram, mas nunca nos disseram que direção escolher. Afinal, errar muitas vezes é a melhor forma de aprendizado. Cabe em especial um agradecimento a nossos pais, por ser nossos exemplos, e por nunca haver hesitado em investir em nosso futuro, ainda que o *payback* do investimento fosse longo demais.

Agradecemos também aos nossos amigos sem exceção, que nos proporcionaram muitos momentos felizes ao longo dos anos de escola, colégio e faculdade.

Aos nossos colegas de trabalho durante a experiência de estágio. Obrigado por acreditarem em nosso potencial, por nos sentirem peça fundamental de nossas empresas e pelo nosso amadurecimento profissional.

Aos professores Armando Gonçalves e Richard Stephan, pela disponibilidade, pela pronta ajuda e por acreditar, assim como nós, na real importância deste projeto e em nossa capacidade.

A todos, nosso muito obrigado.

AS INDAGAÇÕES

*“A resposta certa, não importa nada: o
essencial é que as perguntas estejam
certas.”*

Mário Quintana

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica / UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro de Produção.

ESTUDO COMPARATIVO DE NOVAS ALTERNATIVAS EM MOBILIDADE URBANA: TECNOLOGIA MAGLEV-COBRA HTS E TECNOLOGIA VLT

Daniel da Costa Azevedo
Mariane Martins de Carvalho

Dezembro/2013

Orientador: Armando Celestino Gonçalves Neto, D.Sc.

Curso: Engenharia de Produção

A questão dos transportes urbanos vem sendo cada vez mais centro de discussões tanto pelos gestores públicos como pelo setor acadêmico. A concentração de pessoas nas metrópoles, fenômeno razoavelmente recente nas grandes cidades de países emergentes, traz muitos benefícios, uma vez que intensifica a troca de ideias e experiências. No entanto, torna críticas questões como o deslocamento de milhões de cidadãos todos os dias. Este trabalho visa a contrastar duas alternativas em mobilidade urbana. Uma delas, o Veículo Leve sobre Trilhos (VLT), vem sendo amplamente utilizada em muitas cidades estrangeiras, com a promessa de ser uma solução melhor tecnicamente e mais barata do que o metrô. Por outro lado, apresentamos o Maglev Cobra HTS, um veículo com tecnologia de levitação magnética pioneira, desenvolvido na COPPE UFRJ (LASUP). Serão discutidas vantagens e desvantagens dos dois sistemas, contemplando-se os fatores ambientais, técnicos e econômicos fundamentais no processo de escolha por uma das alternativas.

Palavras-chave: Maglev; VLT; Mobilidade Urbana.

Abstract of Undergraduate Project presumed to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

COMPARATIVE STUDY OF NEW URBAN MOBILITY ALTERNATIVES: HTS MAGLEV COBRA AND VLT TECHNOLOGIES

Daniel da Costa Azevedo
Mariane Martins de Carvalho

Dezembro/2013

Advisor: Armando Celestino Gonçalves Neto, D.Sc.

Course: Industrial Engineering

The issue of urban transport has been increasingly the center of discussions by both public managers and the academic sector. The concentration of people in cities, a recent phenomenon in large cities of developing countries, brings many benefits, since it intensifies the exchange of ideas and experiences. However, it makes critical issues such as displacement of millions of people every day. This paper aims to contrast two alternatives. The first, the Light Rail Transit (LRT, usually referred as Tramway), has been widely used in many foreign cities, with the promise of being a technically better and cheaper solution than the metro. On the other hand, it presents the HTS Maglev Cobra, a vehicle with a pioneer magnetic levitation technology, developed in COPPE UFRJ. Advantages and disadvantages of both systems will be discussed, covering up the most important environmental, technical and economic factors that are taken into consideration when choosing one of the alternatives.

Keywords: Maglev; LRT; Urban Mobility

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivo.....	1
1.2	Relevância	1
1.3	Metodologia	3
2	LEVITAÇÃO MAGNÉTICA	5
2.1	Tecnologias de Levitação Magnética.....	5
2.2	Maglev-Cobra.....	6
3	MOBILIDADE URBANA: COMPARATIVO ENTRE MODAIS	10
3.1	Visão geral sobre aspectos relativos aos sistemas de transportes	12
3.1.1	Espaço Físico	12
3.1.2	Custos.....	13
3.1.3	Aspectos Ambientais	13
3.1.4	Flexibilidade	14
3.1.5	Aspectos Urbanísticos.....	14
3.1.6	Aspectos Técnicos	14
3.2	Trajeto Proposto	15
4	ANÁLISE DA DEMANDA.....	20
4.1	Demanda Inicial	20
4.2	Projeção da demanda futura	21
5	DETERMINAÇÃO DA TARIFA	26
6	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO MAGLEV COBRA.....	29
6.1	Estrutura de Custos.....	29
6.2	Viabilidade Econômica do Trem de Levitação Magnética (Maglev)	31
7	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO VEÍCULO LEVE SOBRE TRILHOS.....	32

7.1	Estrutura de Custos.....	32
7.2	Viabilidade Econômica do Veículo Leve sobre Trilhos	33
8	COMPARATIVO DAS ANÁLISES DE VIABILIDADE ECONÔMICA.....	35
8.1	Premissas.....	35
8.1.1	Demanda e Preço das Passagens.....	35
8.1.2	Percentual de inadimplentes	35
8.1.3	Inflação	35
8.1.4	Horizonte de Análise.....	37
8.1.5	Financiamento.....	37
8.1.6	Impostos.....	37
8.2	Resultados da Análise Econômica	40
9	COMPARATIVO DAS VANTAGENS DA TECNOLOGIA MAGLEV-COBRA X TECNOLOGIA VLT.....	44
9.1	Peso dos veículos	44
9.2	Forma dos veículos.....	44
9.3	Peso da superestrutura da via permanente.....	45
9.4	Nível de vibração e ruídos.....	45
9.5	Liberdade de movimentos	45
9.6	Desempenho energético e ambiental.....	46
9.7	Vantagens de uma construção em via elevada	47
9.8	Incentivo à indústria nacional	48
10	CONCLUSÃO	49
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	51
	ANEXO I: ELASTICIDADE DA DEMANDA (CENÁRIOS)	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Protótipo em escala reduzida do sistema Maglev, no LASUP-UFRJ	7
Figura 2: Protótipo desenvolvido no LASUP (UFRJ)	7
Figura 3: Módulos que compõem o trem de levitação magnética desenvolvido pela COPPE..	8
Figura 4: Base de Levitação do Maglev-Cobra	9
Figura 5: Trecho do Maglev-Cobra em fase de construção na Ilha do Fundão	9
Figura 6: Localização Estratégica do Projeto Porto Maravilha	16
Figura 7: Proximidade entre região do Porto Maravilha e outras áreas do Rio de Janeiro.....	17
Figura 8: Trajeto estudado	18
Figura 9: Projeção da população dos bairros circunvizinhos ao Porto Maravilha até 2031	22
Figura 10: Projeção da população dos bairros circunvizinhos ao Porto Maravilha até 2031 com ajuste quadrático	23
Figura 11: Projeção da oferta de empregos na região até 2031 com ajuste quadrático	24
Figura 12: Previsão de Demanda até 2061	25
Figura 13: Elasticidade da demanda pelo serviço do VLT (Variação percentual da demanda x Variação percentual do preço)	26
Figura 14: Cenários de receitas geradas para cada faixa de preço.....	27
Figura 15: Despesas de Operação e Manutenção Maglev San Diego	30
Figura 16: Análise de sensibilidade em relação à TMA (Maglev)	31
Figura 17: Análise de sensibilidade em relação à TMA (VLT).....	34
Figura 18: Série histórica do IPCA	36
Figura 19: Incidência de Impostos sobre Transporte Público – Visão Geral	38
Figura 20: Fluxo de Caixa Método Direto	41
Figura 21: Análise de sensibilidade à variação da TMA	42
Figura 22: Emissões de poluentes dos principais meios de transporte	47
Figura 23: Projeção 3D da estrutura em via elevada para trens Maglev	47

Figura 24: Evolução do preço dos ímãs de Nd	48
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparativo entre modais (tempo em minutos).....	10
Tabela 2: Demanda Potencial VLT – Porto Maravilha	20
Tabela 3: Projeção da população dos bairros circunvizinhos ao Porto Maravilha até 2031	22
Tabela 4: Projeção da oferta de empregos na região até 2031	23
Tabela 5: Projeção da demanda da linha em estudo até 2031.....	25
Tabela 6: Tarifas do novo VLT da zona portuária.....	28
Tabela 7: Custos de Implantação do sistema Maglev Cobra	29
Tabela 8: Custos Operacionais dos principais modais de transporte – Unidade: US\$ milhões por passageiro, por milha, por sentido	30
Tabela 9: Análise de sensibilidade em relação à TMA (Maglev).....	31
Tabela 10: Custos de Implantação do VLT	32
Tabela 11: Análise de sensibilidade em relação à TMA (VLT)	33
Tabela 12: Série histórica do IPCA	36
Tabela 13: Carga Tributária incidente sobre o transporte urbano.....	39
Tabela 14: Carga Tributária Relativa à Atividade Econômica	40
Tabela 15: Resumo dos resultados obtidos a partir dos fluxos de caixa.....	42
Tabela 16: Comparativo Maglev x VLT.....	44

1 INTRODUÇÃO

1.1 Objetivo

O trabalho, a ser desenvolvido como Projeto de Graduação para a conclusão do Curso de Engenharia de Produção da UFRJ, irá abordar alguns dos aspectos relacionados com a implantação e o funcionamento de duas alternativas de mobilidade urbana: o Maglev Cobra e o Veículo Leve Sobre Trilhos.

Dentro dessa abordagem serão considerados aspectos econômicos, com uma análise comparativa entre ambas as alternativas e, também, serão considerados no presente estudo os possíveis benefícios qualitativos gerados à população, uma vez que os impactos para a sociedade, para o ambiente, para o setor tecnológico do país são importantes considerações no que se refere à abordagem da infraestrutura de transporte urbano.

1.2 Relevância

O presente trabalho dedica-se ao tema da mobilidade urbana. O transporte urbano de massa vem desempenhando um papel estratégico no desenvolvimento sustentável das cidades e nas suas relações com seu entorno.

Segundo OLIVEIRA (2003), os transportes urbanos revestem-se de importância vital na medida em que as cidades crescem, pois proporcionam uma série de benefícios a todos os segmentos que compõem a sociedade. Aos trabalhadores e estudantes porque podem alcançar seus locais de trabalho ou de estudo, garantindo-lhes a manutenção de necessidades de consumo ou de recepção de conhecimentos; aos empresários, porque dispõem de mão-de-obra na atenção de seu processo de produção e, por fim, à sociedade, porque pode beneficiar-se de todos os bens e serviços que a vida urbana oferece, através das relações econômicas e sociais mediante o deslocamento das pessoas.

LERNER, Jaime (2009), assinalou o ano de 2008 como o marco da transição para um mundo majoritariamente urbano, com mais de 50% da sua população morando em cidades, acompanhado por todas as vantagens e oportunidades – bem como os problemas e desafios – que a vida urbana e comunitária traz. Em 1970 o Brasil tinha 90 milhões de habitantes, dos quais cerca de 60% nas zonas rurais. Hoje somos quase 200 milhões, dos quais 80% morando em cidades.

Essa expansão aconteceu de modo acelerado, em grande parte das vezes com ocupações irregulares, avanço sobre áreas de risco e invasões de áreas públicas, onde o poder público se mantém ausente. Em muitas cidades, houve também especulação predatória sobre as zonas consolidadas. Em poucas cidades esse processo foi bem conduzido e monitorado de modo a garantir melhor qualidade.

Embora as atuais taxas de crescimento urbano tenham diminuído em relação às décadas de 70 e 80, muitas cidades ainda não conseguem organizar e atualizar suas redes de serviços públicos essenciais, entre eles o transporte público. A maioria das cidades no Brasil tem crescido de forma desordenada e explosiva, e o resultado, no que se refere ao transporte público, tem sido a formação de um emaranhado de linhas de ônibus operando com grande desperdício de tempo e de custos.

Em grande parte das metrópoles brasileiras, os milhões de deslocamentos em automóveis implicam altíssimos custos não só em termos de tempo para o usuário, como também de poluição, acidentes, investimentos e, conseqüentemente, em termos de produtividade, já que se torna mais difícil produzir depois de desperdiçar tempo e energia para chegar ao trabalho.

O perfil dos deslocamentos tem se modificado significativamente nos últimos anos: antes havia uma grande concentração de locais de trabalho e estudo nas zonas centrais; hoje há uma grande dispersão, o que é menos danoso ao sistema como um todo, pois evita sobrecargas e gargalos. Ainda assim, o ônibus é, e continuará sendo por muito tempo ainda, o principal meio de transporte público viável (economicamente) para a maioria da população de nossas cidades.

Com a reestruturação da rede de transportes, os índices de qualidade de vida da metrópole tendem a melhorar, trazendo acentuada economia de tempo de viagem para as pessoas, e de custo operacional (e de tarifa) para o sistema. Esse processo de reorganização do transporte público leva à reordenação e requalificação do espaço público urbano, podendo ser importante para a diminuição das disparidades regionais socioeconômicas. O aporte de recursos em um bom sistema de transportes pode revitalizar áreas antes degradadas ou vazias do ponto de vista econômico.

Um exemplo de caso de sucesso que merece ser citado é a cidade de Curitiba no Brasil, que planejou todo seu sistema de transportes com a finalidade de criar vetores para crescimento

futuro da cidade, e assim os novos bairros foram se estruturando ao redor dos corredores de ônibus articulados (BRT) e não como se faz na maioria dos casos, em que o transporte urbano tem que “correr contra o tempo” para se ajustar à demanda cada vez maior por um serviço de qualidade: rápido, confortável e pontual ou com boa regularidade.

Outro caso que pode ser mencionado é o projeto do Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) que será implementado no Centro do Rio de Janeiro. Ele é uma das âncoras do projeto que tem o objetivo de revitalizar áreas degradadas da região do porto. Uma rede de transportes integrada e com alto potencial de atração de usuários pode reduzir engarrafamentos em uma região, poluição (por emissões ou ruídos), criar novos padrões urbanísticos no local e, por todos esses motivos, revitalizar essas áreas.

Há que citar ainda que a organização de grandes eventos (tais como a Copa do Mundo e as Olimpíadas, no caso do Rio de Janeiro, nos anos 2000) tende a tornar a gestão e operação de transportes ainda mais críticas, devido ao fluxo incomum de pessoas na cidade durante esses períodos.

Até pouco tempo atrás, acreditava-se que a solução para a mobilidade em grandes metrópoles estava em modais amplamente usados e consolidados em todo o mundo, como o metrô. No entanto, essa solução nem sempre é viável ou nem sempre é a mais adequada, em muitos dos casos. Esse é um paradigma que precisa ser revisto, e novas tecnologias em transportes ganham cada vez mais espaço, contribuindo para o desafio de gerir as cidades.

Por todos os motivos citados, cresce a busca por alternativas mais simples, eficientes e adequadas às realidades econômicas e possibilidades locais, com baixo investimento e implantação mais rápida.

1.3 Metodologia

A metodologia utilizada neste projeto de graduação inclui análise de dados obtidos junto ao professor Richard Stephan, coordenador do projeto Maglev Cobra (da COPPE UFRJ), e também na literatura mundial sobre mobilidade urbana, além de um estudo de caso baseado nos estudos de demanda do futuro Veículo Leve sobre Trilhos do Rio de Janeiro.

O trabalho está estruturado em dez capítulos, que são:

Capítulo 1: Refere-se à introdução do estudo a ser desenvolvido, apresentando o objetivo do mesmo, assim como a relevância do tema e a metodologia utilizada para a estruturação do trabalho.

Capítulo 2: Aborda a levitação magnética e o Maglev-Cobra, projeto de tecnologia pioneira desenvolvido no Laboratório de Aplicações de Supercondutores (LASUP) da COPPE UFRJ.

Capítulo 3: Apresenta uma visão geral sobre os sistemas de transportes mais utilizados mundialmente, sobre o Estado da Arte em termos de mobilidade urbana e ainda discute aspectos gerais relacionados aos mesmos.

Capítulo 4: Este capítulo sugere um método de previsão da demanda pelo serviço de transportes ao longo do horizonte de tempo do projeto.

Capítulo 5: Este capítulo discute o preço a ser praticado pelos sistemas de transportes em estudo.

Capítulo 6: Apresenta uma análise de viabilidade econômica do projeto do Maglev-Cobra.

Capítulo 7: Apresenta uma análise de viabilidade econômica do projeto do Veículo Leve sobre Trilhos.

Capítulo 8: Este capítulo apresenta os resultados da análise econômica comparativa entre os projetos do Maglev Cobra e do Veículo Leve sobre Trilhos.

Capítulo 9: Aborda a comparação entre os projetos do Maglev-Cobra e do Veículo Leve sobre Trilhos à luz de diversos aspectos qualitativos.

Capítulo 10: Este capítulo conclui o estudo comparativo entre os dois projetos em questão.

2 LEVITAÇÃO MAGNÉTICA

2.1 Tecnologias de Levitação Magnética

O estudo sobre levitação magnética, embora relativamente recente com relação a outras tecnologias, já existe há algumas décadas. A pesquisa sobre o assunto teve seu início na década de 1960, constituindo uma verdadeira inovação em relação, por exemplo, ao sistema ferroviário tradicional com circulação de veículos sobre rodas em trilhos construídos para essa finalidade.

A levitação magnética pode ser caracterizada de acordo com três grupos distintos, são eles:

Levitação Eletrodinâmica

Trata-se de uma metodologia em que há criação de campo magnético próximo ao material utilizado como condutor. Nessa região, são induzidas correntes elétricas que irão ser opostas à variação do campo magnético existente, o que resultará na geração de uma força de repulsão que será parte essencial para que haja a levitação eletrodinâmica.

Levitação Eletromagnética

Diferentemente do que ocorre acima, na levitação eletromagnética, o fator essencial para o funcionamento da estrutura é a força de atração. Tal força é resultante de uma interação entre um eletroímã e um material ferromagnético.

Levitação Magnética Supercondutora

Essa forma de levitação magnética é baseada na propriedade diamagnética dos supercondutores pela exclusão parcial do campo magnético no interior dos supercondutores do tipo II. Se por um lado tal exclusão parcial reduz a força de levitação, por outro lado é o grande diferencial e, portanto, a grande inovação em relação aos métodos citados anteriormente, uma vez que esse fator é o que confere estabilidade para a estrutura. Essa metodologia é significativamente mais recente do que as anteriores, pois ocorreu após o início da utilização de alguns materiais magnéticos, como superímãs e pastilhas supercondutoras de elevada temperatura crítica (HTS), com características apropriadas.

Justamente por se tratarem de tecnologias comparativamente mais antigas, a Levitação Eletrodinâmica e a Levitação Eletromagnética já possuem estruturas sendo utilizadas em escala real. Como grande exemplo da primeira tecnologia, destaca-se o Japão, país no qual foi inaugurada uma linha dentro da qual o trem anda sobre trilhos até atingirem determinada velocidade, a partir da qual passa a levitar através da participação de bobinas condutoras no sistema da estrutura.

No caso da Levitação Eletromagnética, o grande exemplo se constitui na Transrapid, instalada na China, que faz uso desse método para o funcionamento e alcance de velocidades consideravelmente elevadas (cerca de 480 km/h).

No caso da levitação magnética supercondutora, ainda não há uma estrutura em funcionamento em termos de escala real. O Brasil está tendo um importante papel pioneiro através do estudo para implantação do Maglev-Cobra que irá utilizar esse tipo de sistema para levitação, conforme será abordado no tópico a seguir.

2.2 Maglev-Cobra

O Maglev-Cobra é um projeto de um veículo de levitação magnética desenvolvido no Laboratório de Aplicações de Supercondutores (LASUP) da COPPE(UFRJ), apresentado de forma pioneira como uma alternativa para a crise no transporte urbano, já que é o primeiro projeto em toda a América Latina que usa a tecnologia de levitação magnética aplicada ao transporte intraurbano (ideal para velocidades de até 70km/h).

O uso potencial de um trem MAGLEV, baseado em supercondutores de elevada temperatura crítica (High Temperature Superconductings, HTS) foi demonstrado em um protótipo em escala reduzida e em operação na UFRJ desde 2005, através do Laboratório de Aplicação de Supercondutores (LASUP). O Maglev é acionado por motor linear, alimentado com inversor de frequência de fabricação nacional.

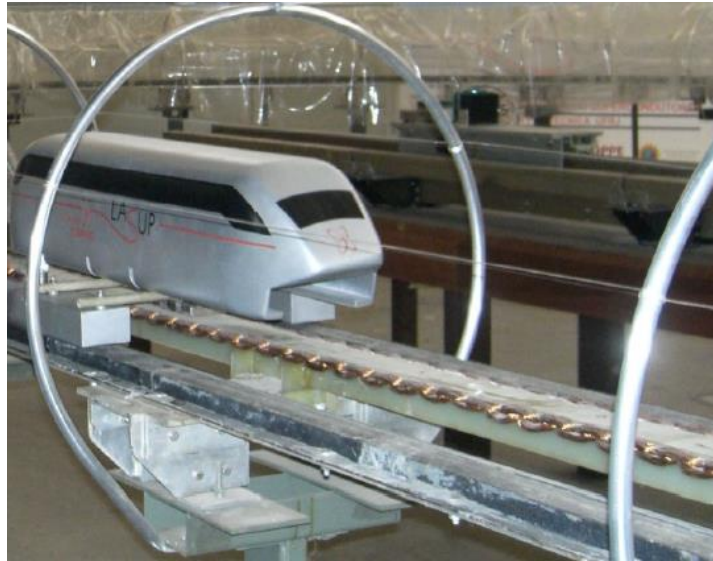


Figura 1: Protótipo em escala reduzida do sistema Maglev, no LASUP-UFRJ

Fonte: STEPHAN 2003

Já existem no mundo dois sistemas de trens magnéticos: um deles é alemão e foi vendido para uma linha comercial na China; o outro, ainda experimental, é japonês. Nos dois sistemas, os trens alcançam velocidades superiores a 500 quilômetros por hora e, por isso, são projetados para interligar cidades distantes.



Figura 2: Protótipo desenvolvido no LASUP (UFRJ)

Fonte: www.maglevcobra.com.br

A principal diferença dessa tecnologia em comparação àquelas que vêm sendo desenvolvidas em outros países é que, neste caso, a levitação é possível graças à propriedade diamagnética de supercondutores de elevada temperatura crítica conhecida como efeito Meissner.

Uma breve explicação para o fenômeno é que o campo magnético no interior de um supercondutor é zero na presença de um ímã permanente, produzindo forças repulsivas. No caso de supercondutores de tipo II, a exclusão é parcial, o que reduz a força de levitação, mas produz forças atrativas. A combinação de forças atrativas e repulsivas proporciona maior estabilidade ao sistema.

A principal vantagem de um sistema que usa a levitação magnética é a eliminação do atrito existente em sistemas do tipo roda/trilho, o que causa rápido desgaste e a necessidade frequente de renovação do material rodante, além de maior consumo de energia para a locomoção.

O veículo projetado é formado por vários anéis interligados através de juntas flexíveis— daí a sua denominação: Maglev-Cobra. Isso permite que a capacidade ofertada se ajuste à demanda em um determinado período.



Figura 3: Módulos que compõem o trem de levitação magnética desenvolvido pela COPPE

Fonte: www.maglevcobra.coppe.ufrj.br

O componente fundamental do veículo é a “base de levitação”, um componente padronizado onde se apoiam os módulos de passageiros, cabine de controle e portas. Nessa base, encontram-se instalados criostatos, mostrados em azul na figura 4, no interior dos quais se encontram os supercondutores, refrigerados com nitrogênio em estado líquido (77 K). Na parte central, encontram-se as bobinas que são alimentadas com energia elétrica e permitem a movimentação do veículo através de um motor linear.

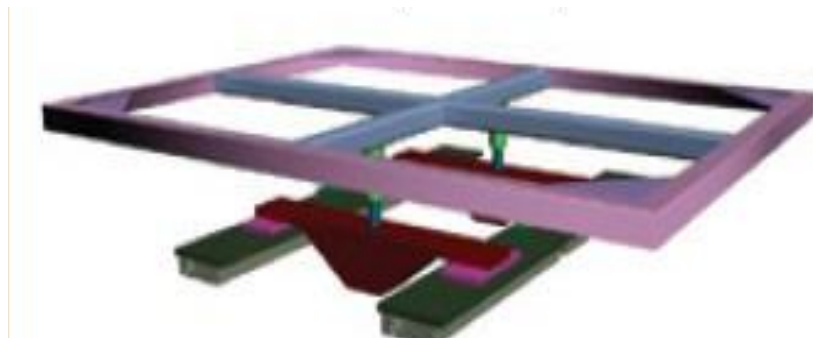


Figura 4: Base de Levitação do Maglev-Cobra

Fonte: www.brasilengenharia.com.br

O Maglev-Cobra utiliza a energia elétrica e está em pleno acordo com as normas energéticas, ambientais e ecológicas e abre oportunidades para o desenvolvimento tecnológico e científico nacional. A tecnologia foi testada em um protótipo de escala reduzida, em trajetória fechada de 30 m de comprimento. Mais recentemente um trecho de 200 m começou a ser construído e ligará os dois Centros de Tecnologia localizados na Ilha do Fundão.



Figura 5: Trecho do Maglev-Cobra em fase de construção na Ilha do Fundão

Fonte: www.planeta.coppe.ufjf.br

3 MOBILIDADE URBANA: COMPARATIVO ENTRE MODAIS

Ao se pensar em modalidades de transporte urbano, em muitos casos, o metrô é visto como a grande solução do caos do trânsito nas grandes cidades. No entanto, diferentes aspectos devem ser analisados ao se considerar tal modalidade, como os altos custos de implantação e manutenção de sistemas desse porte, que exigem grande investimento para, por exemplo, perfurar túneis subterrâneos. Além disso, embora o metrô seja um importante meio de transporte, a maior parte dos deslocamentos diários da população é realizada na superfície.

Segundo LERNER (2009), o metrô pode ser mais rápido do que outras alternativas existentes como, por exemplo, o ônibus, porém o tempo de deslocamento total não necessariamente possui a mesma característica. As estações são mais espaçadas e, portanto, há maior deslocamento entre as mesmas. Depois de se deslocar pelas estações e escadas, por vezes não automáticas, é necessário percorrer longos corredores até se chegar à plataforma desejada, onde se aguarda em média de 2 a 5 minutos.

Caso haja a necessidade de se fazer uma transferência para outra linha, repete-se o processo resultando em mais cerca de 15 a 20 minutos de tempo de percurso, o que resulta em um tempo total de deslocamento maior do que parece inicialmente.

Tabela 1: Comparativo entre modais (tempo em minutos)

DESLOCAMENTO		METRÔ	BRT	VLT	ÔNIBUS
Acesso à estação	Distância	500 m	250 m	250 m	200 m
	Tempo	7,5	3,9	3,9	3,0
Acesso à plataforma	Distância	200 m	–	–	–
	Tempo	3,0	–	–	–
	Pagamento	0,1	0,1	0,1	0,1
Viagem (10 km)	Velocidade	40 km/h	27,5 km/h	20 km/h	17 km/h
	Tempo	15,0	22,0	30,0	35,3
Acesso à rua	Distância	200 m	–	–	–
	Tempo	3,0	–	–	–
TEMPO TOTAL		28,6	26,0	34,0	38,4

Fonte: LERNER (2009)

Com relação aos transportes que se deslocam na superfície, o caos do trânsito se torna continuamente mais intenso nas diferentes regiões do país, com especial destaque para as grandes metrópoles. Os engarrafamentos constantes geram uma crescente necessidade de expandir o horizonte em relação aos meios de transporte usuais, ou seja, carros e ônibus.

Em relação ao primeiro, tais veículos de passeio são responsáveis por resultar em um significativo aumento da complexidade já existente no trânsito. Sua capacidade extremamente limitada e, normalmente, não completamente preenchida (em geral, suportam cinco passageiros e não circulam com sua capacidade máxima completa) tem, como consequência, um aumento de veículos nas ruas e, portanto, um trânsito cada vez pior.

Já o transporte rodoviário, conforme citado acima, é responsável pelo deslocamento de grande parte da população. No entanto, seu funcionamento está muito distante do ideal. Diversos fatores evidenciam esse funcionamento inadequado como, por exemplo, o fato de esses veículos ocuparem as mesmas vias de tráfegos de outros meios de transporte, congestionando ainda mais significativamente o trânsito.

Além disso, a circulação de ônibus, muitas vezes, ultrapassa o limite máximo de capacidade do veículo, gerando uma série de consequências negativas para os passageiros como desconforto, estresse, atrasos. Em resumo, uma grande diminuição de sua qualidade de vida.

Vale ressaltar que os carros e ônibus utilizam combustíveis fósseis para circularem e, portanto, também possuem um grande impacto negativo no que se refere ao meio ambiente, pois poluem significativamente o mesmo.

Desse modo, é possível verificar que cada cidade precisa se aprimorar na busca por novas alternativas de mobilidade urbana. Portanto, o estudo relativo aos meios de transporte, sob a ótica de diferentes aspectos, assume cada vez maior relevância.

A seguir, será feita a abordagem, segundo alguns aspectos, de uma análise comparativa inicial entre o Maglev-Cobra (veículo de levitação magnética), já abordado em tópico anterior, e o VLT, veículo leve sobre trilhos, que pode ser resumidamente entendido como uma espécie de trem de estrutura intermediária em relação ao metrô (de características físicas mais robustas) e ao bonde (considerado de estrutura mais leve) movido por meio de

eletricidade. Tal comparação será aprofundada posteriormente nos tópicos seguintes do presente estudo.

3.1 Visão geral sobre aspectos relativos aos sistemas de transportes

3.1.1 Espaço Físico

O espaço físico é, talvez, o fator mais importante para o transporte público. Num mundo urbano, o espaço disponível se torna cada vez mais caro e disputado. Se o transporte tem que enfrentar as mesmas condições de congestionamento das vias que os automóveis e motos, o tempo de viagem não apenas aumenta para os passageiros, mas o custo operacional também aumenta.

“O público não percebe que o número de ônibus necessários para transportar passageiros a 20km/h é metade do número necessário quando a velocidade comercial é apenas 10km/h. Ou seja, criar as condições para aumentar a fluidez do transporte público é essencial também para conter as tarifas.”

LERNER (2009)

Dessa forma, a ideia de vias elevadas exclusivas para o modal torna-se interessante, uma vez que isola o veículo dos demais, permitindo menores tempos de viagem, maior frequência no sistema e, conseqüentemente, possibilita menores tarifas aos usuários.

No caso do VLT, veículo leve sobre trilhos, o mesmo é considerado um meio de transporte de média capacidade. Em termos de circulação no espaço urbano, ele não é completamente independente do tráfego dos demais veículos, o que gera, como uma das principais conseqüências, a disputa pelo espaço físico disponível e, conseqüentemente, um impacto negativo no trânsito.

Já o Maglev, assim como o VLT, possui média capacidade no que se refere ao transporte de passageiros. No entanto, diferentemente do que o explicitado acima, há um espaço de circulação destinado ao mesmo, o que gera um efeito positivo em termos de tráfego urbano. Seu funcionamento pode ocorrer através de uma estrutura de vias elevadas que possuem como diferencial o fato de não afetarem o tráfego dos demais veículos, contribuindo assim para que não haja ampliação dos congestionamentos já existentes.

3.1.2 Custos

Com relação aos custos de implantação e manutenção dos meios de transporte estudados, existem importantes aspectos a serem considerados no que diz respeito aos custos fixos e aos custos variáveis do projeto.

Por um lado, os custos de implantação do Maglev são consideráveis, uma vez que os ímãs de que necessita para seu funcionamento possuem custos elevados. Por outro lado, os custos variáveis de manutenção do Maglev são consideravelmente menores.

Tal fato pode ser justificado, principalmente, pela forma de funcionamento da estrutura. A levitação magnética resulta na inexistência de atrito que, por sua vez, implica em um desgaste muito menor da estrutura do veículo. Desse modo, os custos variáveis de manutenção do Maglev sofrem uma redução considerável, impactando em custos menores no médio e longo prazo.

O trabalho irá abordar os aspectos econômicos envolvidos na implantação e funcionamento do VLT e do Maglev em tópico posterior do presente estudo, dentro do qual será realizada uma análise comparativa do aspecto econômico de ambos os transportes. Vale ressaltar que o trabalho, em sua análise comparativa, também irá considerar os possíveis benefícios qualitativos gerados à população, uma vez que estes também são importantes considerações no que se refere à abordagem da infraestrutura de transporte urbano.

3.1.3 Aspectos Ambientais

Em termos de impactos ambientais, tanto o VLT quanto o Maglev se constituem em alternativas significativamente melhores do que outros meios convencionais de transporte no que se refere ao impacto ambiental que provocam.

Em ambos os transportes citados, a energia elétrica é a base de funcionamento dos veículos. Trata-se, portanto, de uma energia renovável e não poluente, diferentemente dos combustíveis fósseis utilizados nos meios de transportes utilizados pela população em maior escala.

No entanto, em relação direta com o VLT, o Maglev possui ainda um consumo menor de energia elétrica, devido, principalmente, ao fato de possuir um peso menor e ao fato de

circular sem atrito, o que resulta na inexistência de resistência do veículo com a superfície de rolamento, o que, por outro lado, ocorre com o VLT. Isso faz do Maglev, em primeira análise, um modal mais sustentável que o VLT, já que é mais eficiente do ponto de vista do consumo energético.

Outro quesito que pode ser discutido é a emissão de ruídos. No caso do Maglev, pouco ruído é gerado, o que não é verdade em todos os sistemas de transporte tradicionais. Bondes, até mesmo os mais modernos (VLT), não deixaram de ser barulhentos. Ônibus são destaques negativos no quesito poluição sonora, devido ao ruído do motor, do freio etc.

3.1.4 Flexibilidade

Uma das grandes vantagens do Maglev em relação ao VLT reside na sua circulação em regiões com topografia específica. O veículo leve sobre trilhos necessita, para seu funcionamento, que haja o atrito da roda com o trilho, o que limita a cerca de 4% a rampa máxima do veículo. Já no caso do Maglev, tal aspecto é superado significativamente, podendo ser ampliada para cerca de 10%, o que impacta na redução da necessidade de adequação da estrutura urbana às características geográficas de determinada região através da construção de túneis e viadutos, por exemplo.

3.1.5 Aspectos Urbanísticos

Uma questão também muito importante quando se trata do planejamento urbano é a questão urbanística, ou seja, se o projeto está alinhado ou não ao padrão estético e de funcionalidade que foi previamente planejado para uma determinada área da cidade. Muitos arquitetos e urbanistas criticam projetos de corredores de transportes em vias elevadas por destoarem do entorno no qual estão inseridos, comprometer vistas privilegiadas, aumentar o nível de ruído próximo a edifícios, aumentar a quantidade de concreto no ambiente urbano ou outros motivos usualmente alegados. No entanto, algumas soluções são tomadas, em todo o mundo, em cidades que usam monotrilhos, por exemplo, a fim de incluir essas formas de transporte no contexto planejado para uma área urbana.

3.1.6 Aspectos Técnicos

O VLT é um veículo leve sobre trilhos que, portanto, está submetido às mesmas condições de circulação características do sistema ferroviário. Desse modo, o peso total desse veículo é

transmitido de forma concentrada ao solo através do eixo ao qual está apoiado. Já o Maglev tem sua estrutura relacionada a linhas de ímãs que permitem a circulação do transporte através de levitação magnética. Desse modo, seu peso total é distribuído pelos blocos de supercondutores.

Essa carga distribuída da estrutura do Maglev é um grande diferencial para que seja possível a sua instalação em vias elevadas em relação ao tráfego normal, conforme já citado anteriormente. Além disso, ao não precisar de rodas, por exemplo, o peso total da estrutura do Maglev é muito menor do que no caso do veículo leve sobre trilhos – VLT.

Devido a seu projeto modular e flexível, o Maglev-Cobra pode realizar curvas de até 30 m de diâmetro e percorrer trechos inclinados em até 15°. No caso do VLT, manobras desse tipo são mais difíceis de ocorrer devido ao pouco espaço que o solo urbano normalmente oferece e trechos inclinados são igualmente difíceis, pela dependência do atrito roda-trilho.

3.2 Trajeto Proposto

A cidade do Rio de Janeiro está em uma fase muito importante de sua história, sendo palco para eventos de grande porte no país, tais como Jornada Mundial da Juventude (JMJ – 2013), Copa do Mundo 2014 (sendo uma das cidades do evento e local da final do torneio) e também as Olimpíadas de 2016.

Tais eventos são responsáveis por atrair grande número de turistas e também por fornecer maior projeção internacional para o Rio de Janeiro e, conseqüentemente, para o Brasil. Esses aspectos reforçam ainda mais a necessidade de melhorar a infraestrutura de transporte urbano da cidade.

Nesse contexto, está inserido uma das grandes motivações do presente estudo que é debater possibilidades de alternativas que tragam, além de viabilidade econômica, benefícios qualitativos para a população, não somente durante esse período de eventos, mas também pelos anos seguintes, resultando em melhorias reais para a cidade como um todo e para seus habitantes.

Segundo o estudo Operação Urbana Porto Maravilha – Reurbanização e Desenvolvimento Socioeconômico, visando promover uma reestruturação urbana da Região Portuária,

encontra-se o projeto Porto Maravilha que está em fase de desenvolvimento com previsão de funcionamento para 2015/2016. Tal projeto visa à integração entre modais, incluindo a implantação do VLT (veículo leve sobre trilhos) em um trecho estratégico da cidade do Rio de Janeiro, conforme apresentado na figura a seguir:



Figura 6: Localização Estratégica do Projeto Porto Maravilha

Fonte: www.portomaravilha.com.br

Esse trecho, de aproximadamente 5.000.000 de m² é considerado estratégico por estar localizado em área de grande fluxo de pessoas no centro da cidade do Rio de Janeiro e por sua posição geograficamente próxima de alguns dos principais pontos da cidade, como mostra a figura a seguir:



Figura 7: Proximidade entre região do Porto Maravilha e outras áreas do Rio de Janeiro

Fonte: www.portomaravilha.com.br

O Veículo Leve sobre Trilhos será implantado em uma extensão de 28 km, considerando 42 estações e 6 diferentes linhas, separadas do seguinte modo:

- Linha Central – Barcas;
- Linha Central – Praça Mauá;
- Linha Central – Aeroporto;
- Linha Rodoviária – Aeroporto;
- Linha Rodoviária – Praça Mauá;
- Linha Rodoviária – Central;

Para fins do presente trabalho, com finalidade de analisar e comparar duas alternativas de modais (no caso, VLT e Maglev), foram adotadas algumas premissas para o estudo. A fim de compararmos ambas as modalidades na mesma base em termos de extensão e fluxo de passageiros, o trajeto analisado será o mesmo nos dois casos.

Além de tal fato, foi feita a opção por focar o estudo da implantação de ambas as modalidades na linha correspondente ao trecho Rodoviária – Central, conforme apresentado e destacado na figura a seguir:

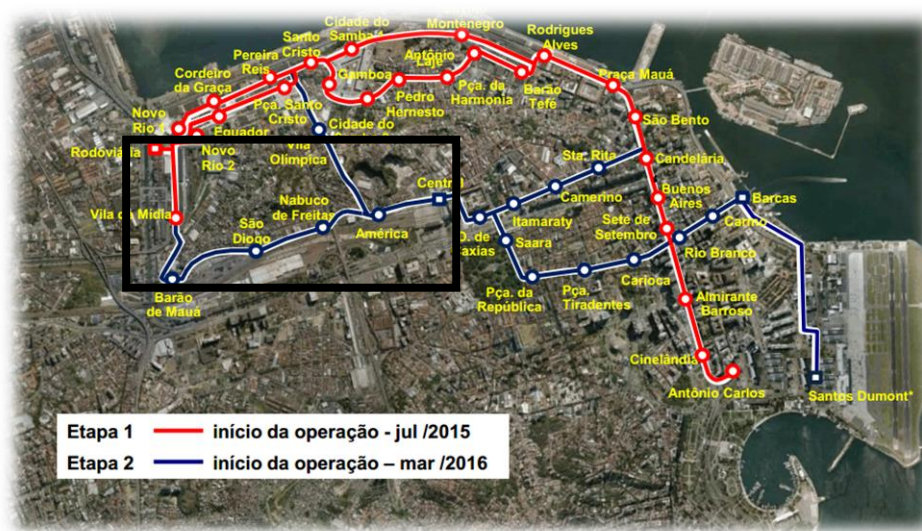


Figura 8: Trajeto estudado

Fonte: www.portomaravilha.com.br

Vale ressaltar que há um total de 7 estações nesse trecho (Rodoviária; Vila de Mídia; Barão de Mauá, São Diogo, Nabuco de Freitas, América e Central), porém, para fins da análise da demanda potencial desses modais, será considerado como premissa que todos os passageiros que embarcam na estação da Rodoviária para circular no trajeto escolhido tem como destino chegar à estação Central, uma vez que ambas as estações escolhidas representam as principais estações do percurso selecionado.

A Rodoviária Novo Rio localiza-se na Avenida Francisco Bicalho, 1 – Santo Cristo e apresenta grande proximidade com os principais trajetos da cidade do Rio de Janeiro, incluindo grandes vias como Ponte Rio-Niterói, Linha Vermelha e Avenida Brasil.

Por se tratar de um terminal responsável diariamente por ser o ponto de partida e/ou chegada de muitas pessoas que se deslocam pela cidade, o presente estudo optou por considerar, em seu trajeto proposto, a Rodoviária Novo Rio, com uma área total de cerca de 28.000 m², como o local de origem de implantação das alternativas estudadas (VLT e Maglev), a fim de

estimar a demanda de passageiros existentes para tais modais, caso começasse a existir a opção de escolha para os usuários potenciais.

No outro extremo do trajeto escolhido, encontra-se a estação Central, na Praça Cristiano Ottoni, local de circulação de grande parcela da população diariamente, sendo atualmente ponto de integração entre diferentes formas de transporte urbano, tais como ônibus, trens e metrô.

O presente estudo apresentará outras alternativas de mobilidade urbana para a região através da implantação prevista do VLT e da outra alternativa do estudo, Maglev, bem como as vantagens e desvantagens de ambas.

4 ANÁLISE DA DEMANDA

O Maglev-Cobra é um projeto pioneiro no Brasil, desenvolvido no Laboratório de Aplicações de Supercondutores (LASUP) da COPPE (UFRJ). O VLT está em fase de construção no Rio de Janeiro, na região portuária. Por se tratarem de tecnologias sem precedentes na região em estudo, alguns dados sobre a futura utilização dos modais não puderam ser obtidos por meio de coleta de informações reais.

Desse modo, a estimativa da demanda de tais modalidades foi considerada segundo dois aspectos:

- Demanda para ano inicial (2016) de funcionamento;
- Demanda para anos posteriores;

4.1 Demanda Inicial

O presente trabalho optou por considerar, como premissa de demanda potencial inicial na análise das modalidades do próprio VLT e também para o Maglev, a demanda obtida por meio do Estudo Preliminar e Provisório de Demanda para o Sistema de Veículo Leve Sobre Trilhos na Região Portuária e Centro do Rio de Janeiro.

Tal estudo considerou quatro etapas principais (geração de viagens, distribuição de viagens, escolha modal e alocação de viagens nas rotas) para obter o resultado apresentado no quadro abaixo para a demanda potencial:

Tabela 2: Demanda Potencial VLT – Porto Maravilha

Ano	R\$ 2,50		
	Individual	Coletivo	Total
2016	50.908	195.454	246.362
2021	54.781	205.680	260.461
2026	56.302	210.834	267.136
2031	56.831	213.658	270.489

Fonte: www.portomaravilha.com.br

A demanda projetada, em 2016 a tarifa de R\$ 2,50, corresponde a 246.362 passageiros/dia, sendo que 50.908 seriam resultado da opção de passageiros com veículos próprios de migrar

para a modalidade VLT e 195.454 seriam resultado da opção de passageiros que já utilizam transportes coletivos de migrar para a modalidade VLT.

No entanto, vale ressaltar que a demanda de 246.362 passageiros corresponde ao total das seis linhas a serem implantadas de VLT na região. O estudo de demanda feito pela concessionária que administrará o VLT do Rio de Janeiro indica que o número de usuários da linha em estudo em 2016 será de 66.667 pessoas.

4.2 Projeção da demanda futura

As premissas apresentadas no item anterior forneceram a demanda inicial prevista para o primeiro ano de operação do VLT (2016). Para os anos subsequentes de funcionamento do sistema, outras considerações foram feitas. A curva de demanda projetada foi obtida a partir da análise de fatores que podem estar relacionados de forma significativa com essa tendência. Os fatores considerados neste estudo foram os seguintes:

- População dos bairros circunvizinhos;
- Quantidade de empregos na área;

Devido ao grande volume de transformações pelas quais a região passará nos próximos anos, graças ao volume de investimentos feitos, as curvas de população e quantidade de empregos não seguirão uma tendência a partir de uma série histórica de dados.

A fim de se obter uma previsão mais acurada, foi utilizada a previsão contemplada no estudo de demanda feito pela concessionária do VLT a ser construído no Centro do Rio de Janeiro até 2016. A figura a seguir mostra a discordância entre a tendência de crescimento populacional na região (pela simples projeção dos dados da série histórica) e a projeção realizada pelo estudo tomado como base.

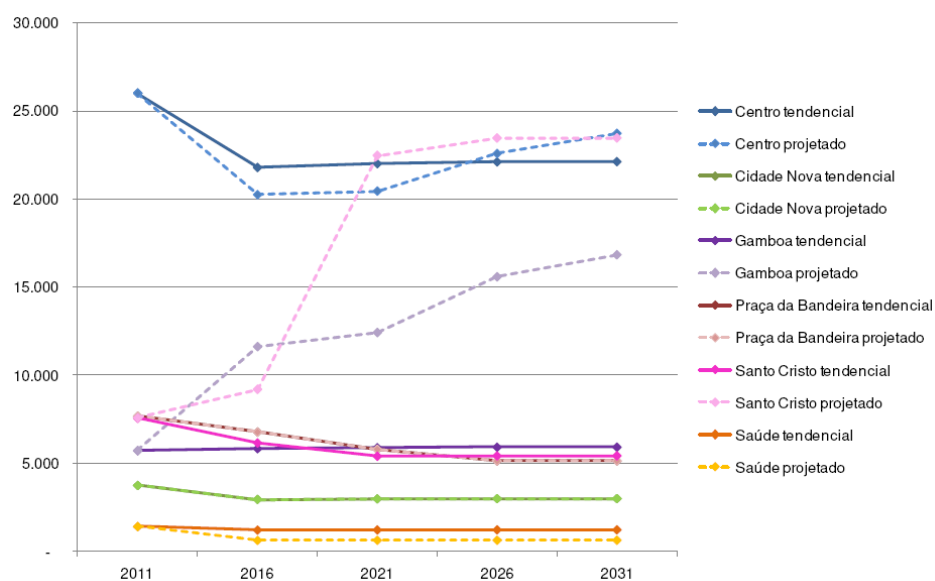


Figura 9: Projeção da população dos bairros circunvizinhos ao Porto Maravilha até 2031

Fonte: Estudo de demanda preliminar do VLT do Centro do Rio de Janeiro

As tabelas a seguir contêm os dados populacionais e sobre a oferta de empregos na região até 2031.

Tabela 3: Projeção da população dos bairros circunvizinhos ao Porto Maravilha até 2031

	2011	2016	2021	2026	2031
Centro	26.001	20.238	20.441	22.571	23.715
Cidade Nova	3.754	2.940	2.970	2.983	2.985
Gamboa	5.725	11.623	12.424	15.582	16.832
Glória	627	562	568	570	571
Praça da Bandeira	7.677	6.787	5.804	5.141	5.143
Santo Cristo	7.571	9.194	22.447	23.430	23.434
São Cristóvão	1.397	2.354	8.753	9.746	9.747
Saúde	1.416	624	630	634	634
Área de Estudo	54.168	54.322	74.037	80.657	83.061

Fonte: Estudo de demanda preliminar do VLT do Centro do Rio de Janeiro

O cenário de projeção de população tomado como referência considera alguns fatores tais como: a tendência da evolução do total da população da cidade, a tendência do percentual de

participação de cada bairro no total da população da cidade, os novos parâmetros urbanísticos definidos pelo Plano Diretor da cidade.

Tabela 4: Projeção da oferta de empregos na região até 2031

	2011	2016	2021	2026	2031
Centro	832.863	828.819	819.081	813.337	806.023
Cidade Nova	209.691	276.305	327.302	400.889	451.774
Gamboa	4.823	32.612	42.575	56.939	60.657
Glória	1.162	1.175	1.176	1.173	1.169
Praça da Bandeira	9.087	8.102	7.253	6.541	5.948
Santo Cristo	15.242	100.831	156.905	227.673	246.747
São Cristóvão	14.373	27.485	143.295	160.430	159.982
Saúde	16.258	58.675	58.299	58.019	57.785
Área de Estudo	1.103.499	1.334.004	1.555.886	1.725.001	1.790.085

Fonte: Estudo de demanda preliminar do VLT do Centro do Rio de Janeiro

Os dados sobre crescimento demográfico da região foram tratados através de um ajuste polinomial de segunda ordem, que forneceu a equação da curva de crescimento populacional entre 2011 e 2013. O gráfico a seguir ilustra o ajuste realizado:

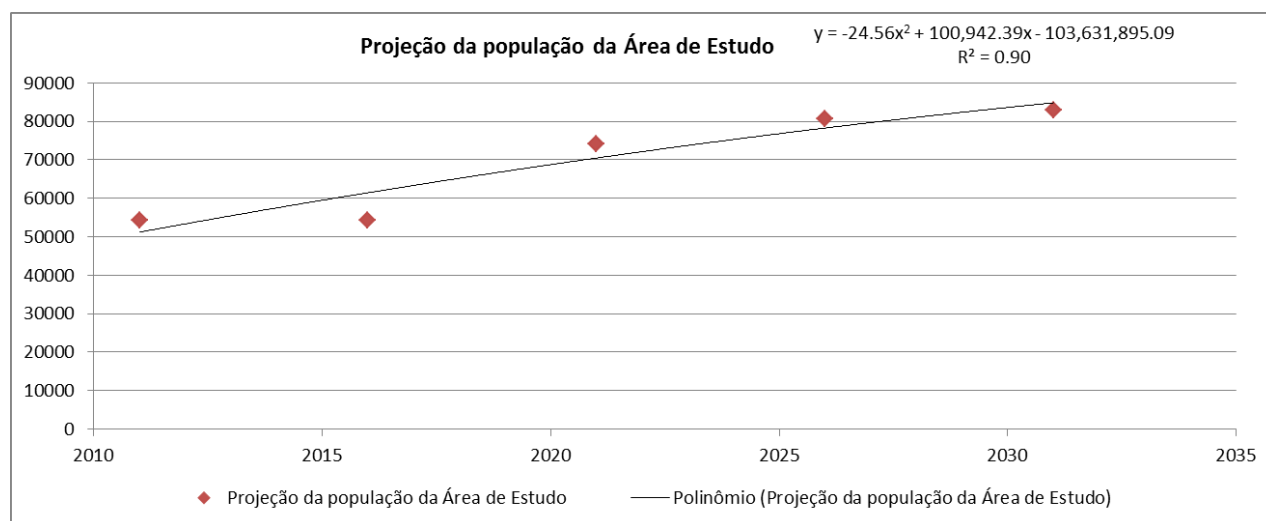


Figura 6: Projeção da população dos bairros circunvizinhos ao Porto Maravilha até 2031 com ajuste quadrático

Fonte: Elaboração Própria

A quantidade de empregos projetada pelo Estudo de Demanda Preliminar do projeto do VLT da Zona Portuária do Rio de Janeiro tem como base a PME (Pesquisa Mensal de Empregos) do IBGE. Da mesma forma que os dados populacionais, os dados sobre oferta de empregos na região foram tratados através de um ajuste polinomial quadrático, que forneceu a equação da curva de oferta de empregos entre 2011 e 2013. O gráfico a seguir ilustra o ajuste realizado:

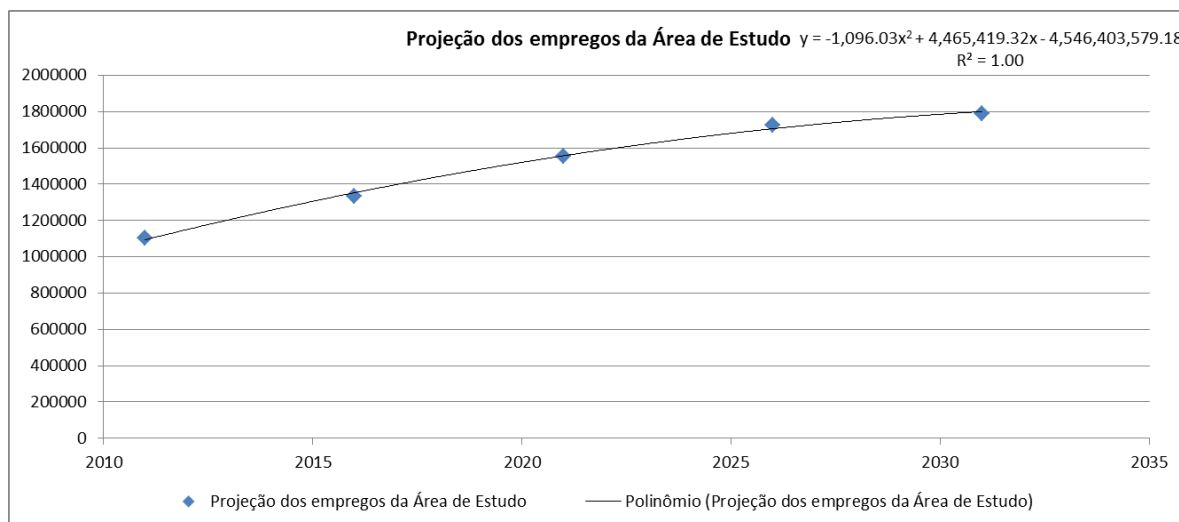


Figura 7: Projeção da oferta de empregos na região até 2031 com ajuste quadrático

Fonte: Elaboração Própria

A demanda do primeiro ano de funcionamento da linha Central-Rodoviária, segundo o estudo de demanda da concessionária do VLT, é de 66.667 passageiros. A projeção da demanda para anos seguintes foi realizada com base na taxa média de crescimento das variáveis correlacionadas. O número de usuários a cada ano será utilizado na elaboração do fluxo de caixa dos sistemas de transportes comparados, o Maglev e o VLT.

Duas premissas foram adotadas no cálculo da demanda projetada:

- Os potenciais de atratividade dos dois sistemas são idênticos; assim, para qualquer que seja o modelo de transporte adotado, a demanda ao longo dos anos será a mesma.
- A região portuária, segundo o seu Plano Diretor, deverá se desenvolver de forma acelerada até a década de 2030. Após esse período, com o desenvolvimento consolidado, a população e oferta de empregos da região

tendem a se estabilizar. Por isso, a demanda da linha para os anos subsequentes foi considerada constante.

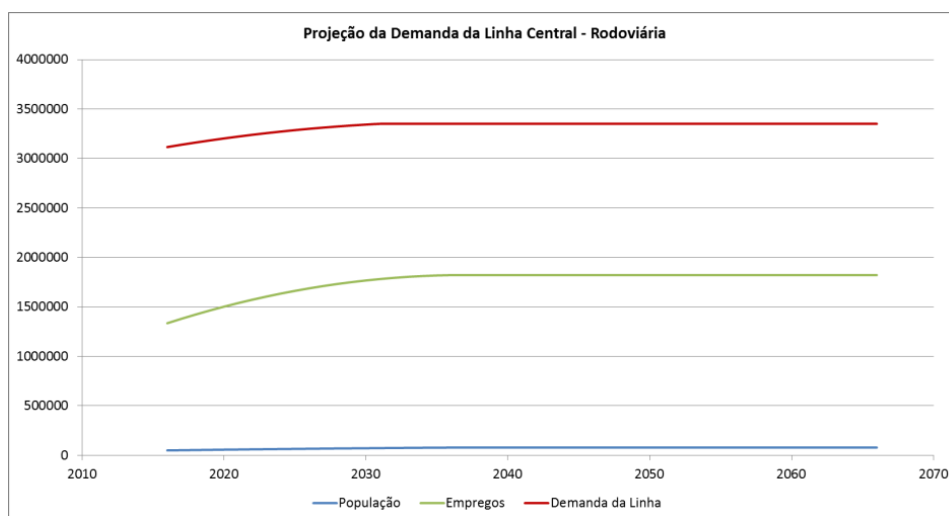


Figura 8: Previsão de Demanda até 2061

Fonte: Elaboração Própria

A partir da taxa média de crescimento populacional e da oferta de empregos, foi possível obter os seguintes dados de demanda para a linha em estudo:

Tabela 5: Projeção da demanda da linha em estudo até 2031

Previsão de Demanda			
Ano	População	Empregos	Demanda da Linha
2016	49836	1335266	24000120
2017	51728	1380397	24023631
2018	53570	1423335	24046022
2019	55364	1464081	24067292
2020	57109	1502635	24087441
2021	58804	1538997	24106470
2022	60450	1573167	24124378
2023	62048	1605145	24141165
2024	63596	1634931	24156832
2025	65095	1662525	24171379
2026	66544	1687927	24184805
2027	67945	1711137	24197110
2028	69297	1732154	24208295
2029	70599	1750980	24218359
2030	71853	1767613	24227302
2031	73057	1782055	24235125

Fonte: Elaboração Própria

5 DETERMINAÇÃO DA TARIFA

Para cada faixa de preço, a demanda pelo serviço de transporte se comporta de uma maneira. Os sistemas de transporte atraem de forma diferenciada o usuário que normalmente se desloca individualmente (por automóvel) e aquele que tem por hábito usar o transporte coletivo. Esse fato faz com que haja duas curvas de elasticidade de demanda possíveis, como mostra a figura a seguir. O preço determinado é aquele que maximiza a receita bruta gerada pelo sistema de transporte.

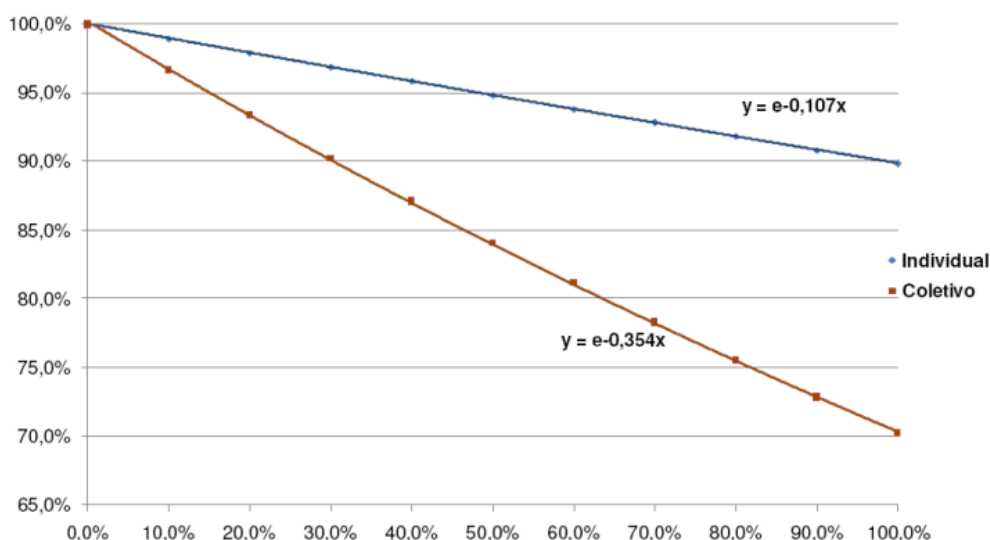


Figura 9: Elasticidade da demanda pelo serviço do VLT (Variação percentual da demanda x Variação percentual do preço)

Fonte: Estudo preliminar de demanda do VLT (Sinergia Estudos e Projetos Ltda)

A partir da tarifa base de R\$2,50 foram simulados vários cenários, que contemplam as receitas de vendas previstas para cada preço praticado. Essa simulação (vide anexo 1) foi feita tomando como base o ano de 2016, ano de início da operação dos meios de transporte em estudo (Maglev ou VLT) e a premissa adotada é de que tanto o Maglev quanto o VLT apresentam o mesmo potencial de atratividade de público e que, portanto, gerariam a mesma receita bruta ao longo dos anos.

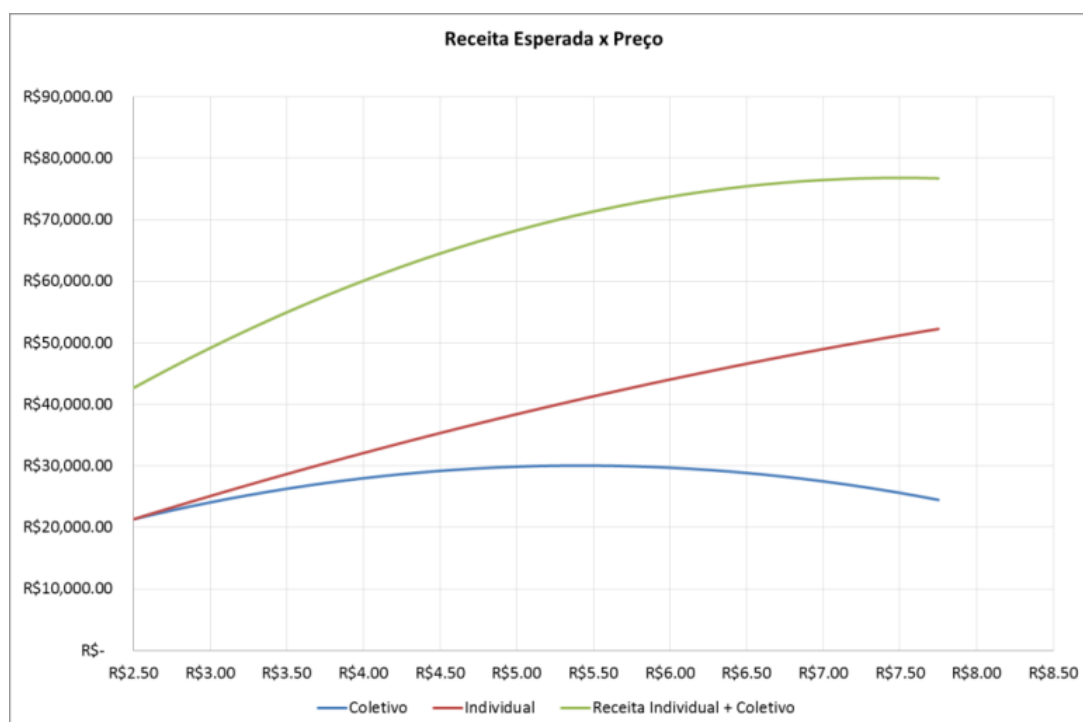


Figura 10: Cenários de receitas geradas para cada faixa de preço

Fonte: Elaboração Própria

A análise dos cenários projetados leva à conclusão de que há grande potencial de atratividade tanto de usuários de transportes individuais quanto daqueles que usam o transporte coletivo, sobretudo dos primeiros. Pode-se também concluir que o preço que implica a maior receita bruta é R\$7,50.

No entanto, a política de concessão do transporte público no Rio de Janeiro pressupõe que a empresa vencedora da concorrência pela linha licitada seja aquela que pratique o menor preço. No caso do VLT da Zona Portuária, a tarifa publicada no edital de concessão é de R\$3,00. Isso não significa que esse será o valor desembolsado pelo usuário. Para este estudo, importa somente o montante a compor a receita bruta nos fluxos de caixa.

A tarifa de R\$3,00 sofre ainda algumas deduções:

- Devido a gratuidades (estimadas em 20% pelo estudo da concessionária CCR), que são aplicáveis a ambos sistemas. Essas gratuidades não alteram as receitas da empresa gestora do sistema, uma vez que os benefícios são subsidiados pelo Governo.

- Perdas por inadimplência. O sistema de VLT pressupõe a validação prévia do passe e o controle é feito por amostragem (por fiscais), implicando um percentual esperado de 10% de perda de receita.

Tabela 6: Tarifas do novo VLT da zona portuária

Distribuição de passageiros e tarifa	Tar. Total (R\$/pax)	% Participação	VLT (R\$/pax)
Exclusiva	3,00	77%	3,00
Integrada Carioca	3,00	14%	1,75
Integrada Metropolitano	4,40	9%	3,00
Tarifa Média sem descontos		100%	2,83
Descontos (Gratuidades / Estudantes / Não Validação)		30%	-0,85
Tarifa Média Final		70%	1,98

Fonte: www.rio.gov.br

6 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO MAGLEV COBRA

6.1 Estrutura de Custos

A estrutura de custos de implantação do Maglev Cobra foi estimada a partir dos dados fornecidos pelo professor Richard Stephan, coordenador do projeto da COPPE, para a linha que está sendo construída no campus da Ilha do Fundão. Como a linha que liga os dois Centros de Tecnologia possui 200m, foi feita uma aproximação para se chegar aos custos de implantação por quilômetro de linha e, por fim, ao custo total da linha em estudo (de 3,2 km); assumindo-se que a necessidade de matérias para a construção da linha é proporcional ao tamanho da mesma. Somente para a primeira categoria de custos foi utilizado o custo de estrutura civil de um projeto de Maglev Urbano para a cidade de San Diego, nos Estados Unidos, pois se acredita que a infraestrutura necessária para uma linha de maior capacidade deverá ter um maior orçamento. Dessa forma, a estrutura de custos fixos de implantação segue conforme a tabela a seguir:

Tabela 7: Custos de Implantação do sistema Maglev Cobra

Custos de Implantação Maglev (R\$/km)	Trecho Central - Rodoviária
Obras Civas	
Subtotal*	R\$ 95,124,473.08
Levitação e propulsão	
Ímã	R\$ 13,984,000.00
Criostato	R\$ 7,708,680.00
Motor Linear	R\$ 14,400,000.00
Subtotal	R\$ 26,192,680.00
Eletricidade	
Instalação/ Iluminação	R\$ 16,000,000.00
Subtotal	R\$ 16,000,000.00
Total	R\$ 137,317,153.08

Fonte: Elaboração Própria

Já os custos de operação e manutenção podem ser estimados como fixos em US\$3,67 milhões de dólares por milha, valor bastante inferior a muitos veículos leves e monotrilhos construídos nos EUA, como é mostrado na tabela a seguir.

Tabela 8: Custos Operacionais dos principais modais de transporte – Unidade: US\$ milhões por passageiro, por milha, por sentido

Maglev	
Maglev San Siego	U\$ 3.67
VLT	
San Diego Trolley	U\$ 4.53
St Louis BSDA	U\$ 7.47
San Jose VTA	U\$ 12.62
Pitsburg PAT	U\$ 14.86
Boston T	U\$ 16.00
San Francisco Muni	U\$ 19.07
People Mover (Monorail)	
Miami	U\$ 16.24
Detroit	U\$ 17.27
Jacksonville	U\$ 32.31

Fonte: Urban Maglev 6th quarter report

A maior parte desse custos operacionais é atribuída à mão-de-obra e à manutenção dos veículos propriamente ditos; as demais categorias de custos são também explicitadas no gráfico a seguir:

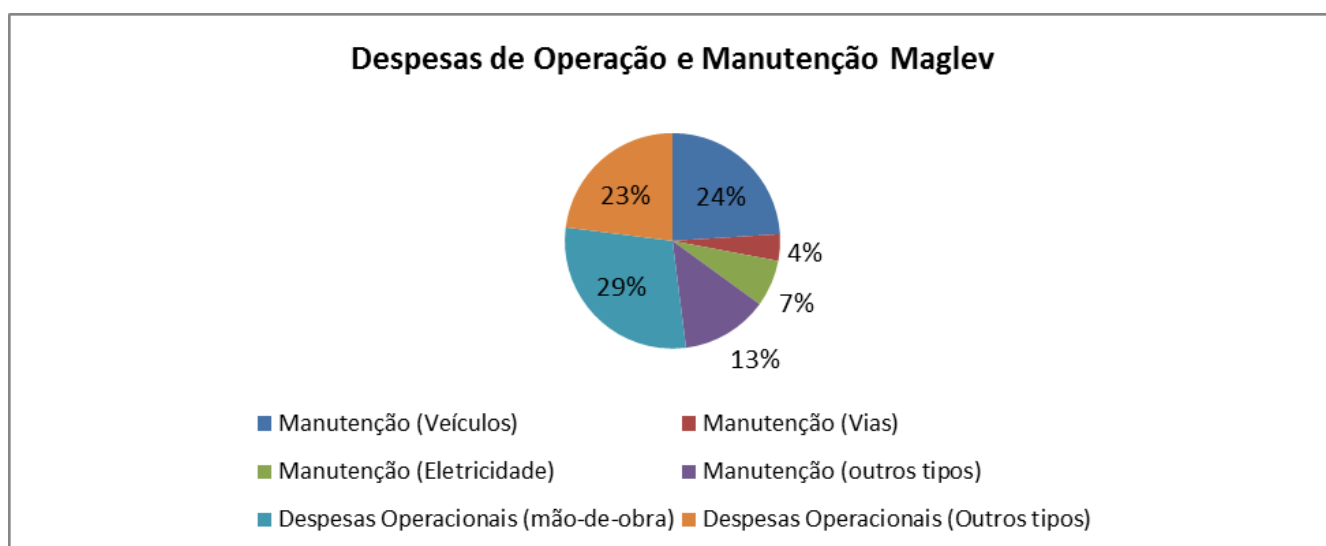


Figura 11: Despesas de Operação e Manutenção Maglev San Diego

Fonte: Urban Maglev 6th quarter report

6.2 Viabilidade Econômica do Trem de Levitação Magnética (Maglev)

O projeto do Maglev-Cobra para a linha em estudo demonstrou ser altamente viável. O sistema apresentou Valor Presente Líquido (VPL) positivo para todo o intervalo de taxas de atratividade estipulado (entre 10% e 50%).

Tabela 9: Análise de sensibilidade em relação à TMA (Maglev)

Valor Presente Líquido (Maglev)		
VPL (10%)	R\$	605,643,467.97
VPL (15%)	R\$	270,973,615.05
VPL (20%)	R\$	160,384,050.09
VPL (25%)	R\$	109,148,116.95
VPL (30%)	R\$	80,277,342.37
VPL (35%)	R\$	61,984,736.94
VPL (40%)	R\$	49,476,476.06
VPL (45%)	R\$	40,455,887.32
VPL (50%)	R\$	33,690,220.35

Fonte: Elaboração Própria

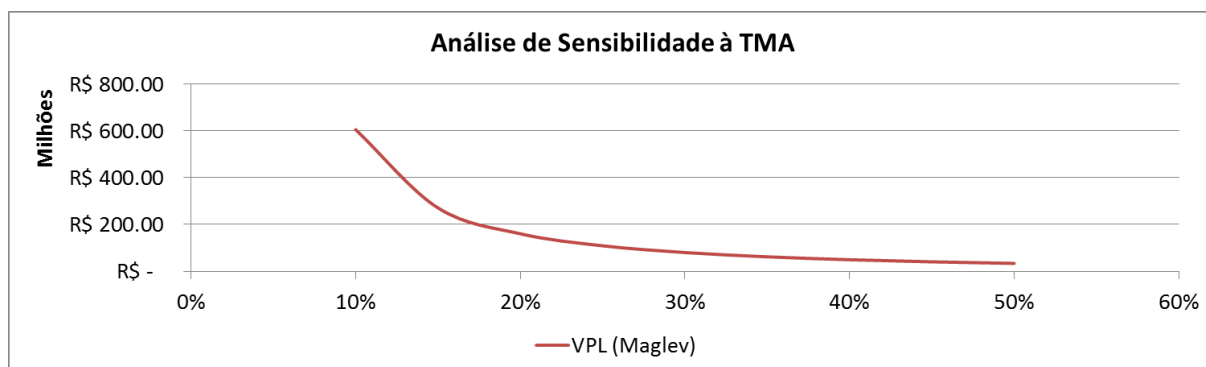


Figura 12: Análise de sensibilidade em relação à TMA (Maglev)

Fonte: Elaboração Própria

7 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO VEÍCULO LEVE SOBRE TRILHOS

7.1 Estrutura de Custos

O veículo leve sobre trilhos está em fase de implantação em muitas regiões brasileiras, estando em diferentes fases de execução nos diferentes Estados do país. Há alguns locais em que o sistema VLT já se encontra inicialmente implementado e visando obras para expansão.

No entanto, para base do presente estudo, foram considerados os custos de implantação do VLT em San Diego, Califórnia, Estados Unidos. Tal escolha se justifica por diferentes aspectos, como o fato de ser um exemplo de funcionamento dessa modalidade de transporte já consolidado há muitos anos e, também, pelo fato de ser comparável ao custo de obras de construção do sistema Maglev por se tratar da mesma localidade que serviu de base na questão de infraestrutura de análise do mesmo, conforme explicitado no tópico anterior.

O sistema de veículo leve sobre trilhos começou a funcionar em San Diego ligando as localidades de San Ysidro e Downtown San Diego, na chamada “Blue Line”. Atualmente, já existem outras linhas operando na região.

Conforme é mostrado no estudo “One of the Best Light Rail Lines In the Country” de Andrew Keatts, a Blue Line de San Diego entrou em funcionamento em 1981 com um custo total de \$ 5,5 milhões por milha. A tabela a seguir apresenta o valor correspondente a tal investimento no trajeto considerado no presente estudo e com as respectivas unidades de medida de R\$/km.

Tabela 10: Custos de Implantação do VLT

Custos de Implantação VLT (R\$/km)		Trecho Central <> Rodoviária
Implantação		
Total	R\$ 7,860,345.58	R\$ 25,153,105.86

Fonte: “Mobility 2030 – The Transportation Plan for the San Diego Region”, April 2003

Comparando os valores dos custos de implantação das duas modalidades, é possível verificar que o custo de implantação do veículo leve sobre trilhos é significativamente menor do que o custo de implantação do Maglev.

No entanto, conforme apresentado na tabela 8 (Custos Operacionais dos principais modais de transporte), os custos de operação do VLT de San Diego são significativamente maiores dos que os do Maglev. Enquanto o primeiro corresponde a US\$ 4,53 milhões/milha, o segundo corresponde a US\$ 3,67 milhões/milha. Desse modo, os custos de manutenção do VLT são consideravelmente maiores que os do Maglev, o que afeta a viabilidade econômica comparativa dessas modalidades como veremos a seguir.

7.2 Viabilidade Econômica do Veículo Leve sobre Trilhos

O projeto do VLT para a linha em estudo demonstrou ser também altamente viável. O sistema apresentou Valor Presente Líquido (VPL) - que é o valor gerado pelo investimento considerando-se o valor do dinheiro no tempo - positivo para todo o intervalo de Taxas Mínimas de Atratividade estipulado (entre 10% e 50%).

Tabela 11: Análise de sensibilidade em relação à TMA (VLT)

Valor Presente Líquido (VLT)		
VPL (10%)	R\$	470,204,192.49
VPL (15%)	R\$	230,049,596.63
VPL (20%)	R\$	145,038,473.79
VPL (25%)	R\$	103,417,906.81
VPL (30%)	R\$	78,984,055.47
VPL (35%)	R\$	63,010,365.44
VPL (40%)	R\$	51,810,259.38
VPL (45%)	R\$	43,561,712.45
VPL (50%)	R\$	37,261,492.15

Fonte: Elaboração Própria

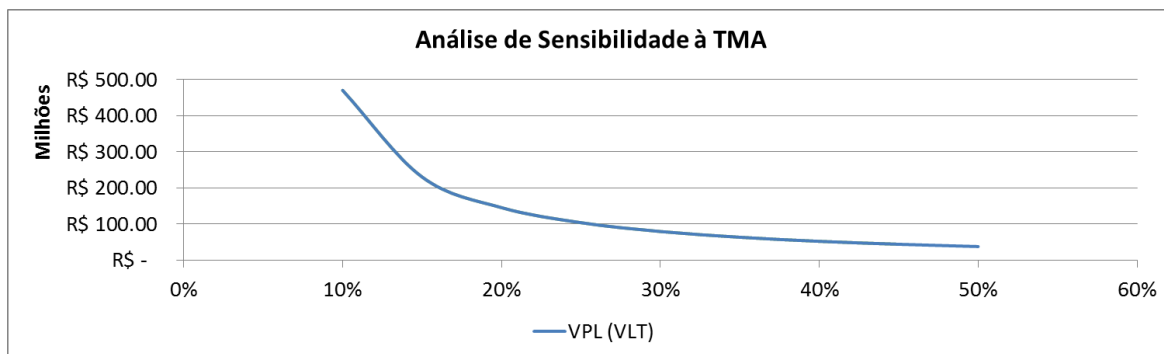


Figura 13: Análise de sensibilidade em relação à TMA (VLT)

Fonte: Elaboração Própria

8 COMPARATIVO DAS ANÁLISES DE VIABILIDADE ECONÔMICA

8.1 Premissas

Para análise da viabilidade econômica de cada um dos projetos individualmente e, também, comparativamente foram consideradas algumas premissas, conforme será visto a seguir.

8.1.1 Demanda e Preço das Passagens

Calculados conforme explicitado em tópicos anteriores, considerando os mesmos números para as duas mobilidades de transporte estudadas.

8.1.2 Percentual de inadimplentes

De acordo com o plano de operação da concessionária do VLT da zona portuária do Rio de Janeiro, o funcionamento de sistema de veículo leve sobre trilhos pressupõe 10% de inadimplência, devido ao fato de os passageiros não precisarem efetivamente validar sua passagem para efetuar o uso do transporte.

Por vezes, essa validação não é realizada, o que gera a necessidade de considerar uma parcela de passageiros que não pagaram a passagem nessa mobilidade. O mesmo não ocorre com o Maglev, pois, para acessar a área de embarque, o pagamento da passagem deve ser realizado previamente, inibindo desse modo a possibilidade de clientes não pagantes.

8.1.3 Inflação

Como o investimento em questão é de longo prazo, cabe considerar a incidência de inflação sobre o preço do serviço de transporte e sobre os custos de ambos sistemas.



Figura 18: Série histórica do IPCA

Fonte: Ministério da Fazenda

Para isso, observou-se a série histórica do índice IPCA ao longo dos últimos dez anos e obteve-se sua média, que é de 5.8% ao ano. Como ao longo desses últimos anos o índice esteve quase sempre acima do centro da meta de inflação (4.5%), optou-se por utilizar essa mesma média para os próximos anos de investimento.

Tabela 12: Série histórica do IPCA

Ano	Histórico IPCA (10 anos)
2003	9.30%
2004	7.60%
2005	5.70%
2006	3.10%
2007	4.50%
2008	5.90%
2009	4.30%
2010	5.90%
2011	6.50%
2012	5.80%
2013	5.60%
Média	5.84%

Fonte: Ministério da Fazenda

8.1.4 Horizonte de Análise

O VLT movido à eletricidade, como nos mostra o estudo “VLT – Sistema de Transporte de Passageiros em Área Urbana”, tem a vida útil de 30 anos. Já o Maglev possui, como uma de suas grandes vantagens, o fato de não possuir atrito. Tal fato implica em menores custos operacionais e em uma maior vida útil do sistema, correspondendo a cerca de duas vezes mais tempo do que o veículo leve sobre trilhos, devido ao menor desgaste do mesmo.

Desse modo, para fins de análise comparativa das mobilidades estudadas, optou-se por adotar o horizonte temporal de 60 anos. De acordo com tal premissa, será necessário realizar o investimento inicial do VLT duas vezes no período analisado.

8.1.5 Financiamento

Considerou-se que todo o valor inicial para a implantação dos sistemas será financiado em ambas as modalidades. O sistema adotado para amortização do valor financiado foi o Sistema Americano, no qual há incidência de juros sobre o valor financiado periodicamente e a amortização do valor total é feita na última parcela do período acordado do financiamento.

Conforme citado anteriormente, esse valor inicial de implantação será considerado duplamente no caso do VLT por ter uma vida útil correspondente à metade do horizonte temporal adotado na análise.

8.1.6 Impostos

Para fins de análise da incidência de impostos, foram consideradas como base as informações da ANTP (Associação Nacional de Transportes Públicos) no trabalho relativo ao “Transporte urbano por ônibus: mapeamento da carga tributária e impacto nos custos”.

A figura a seguir apresenta uma visão geral relativa à incidência de impostos no sistema de transporte público:

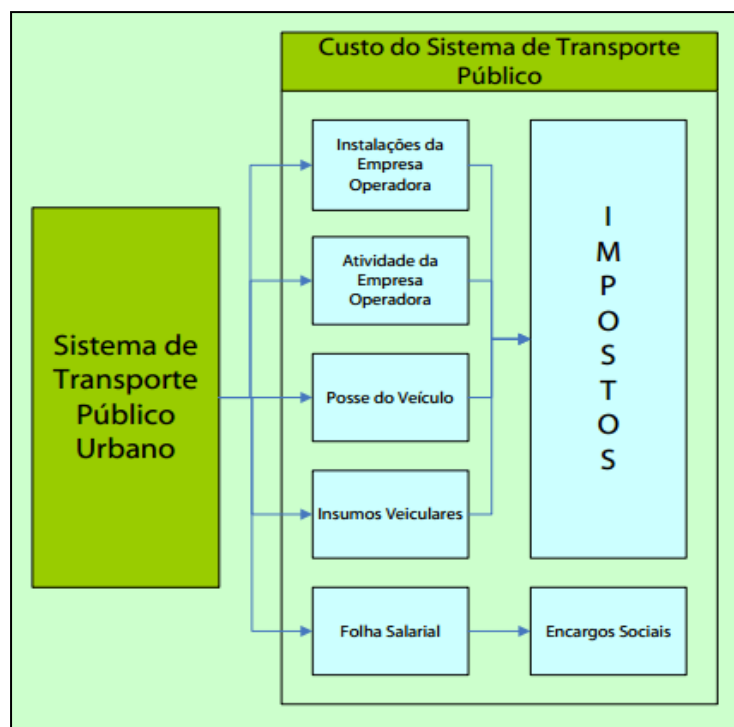


Figura 19: Incidência de Impostos sobre Transporte Público – Visão Geral

Fonte: ANTP

Os impostos cobrados no contexto do sistema de transporte público são variados, podendo ter relação com diferentes aspectos como, por exemplo, impostos relativos às instalações, posse de veículos, insumos utilizados nos sistemas de transporte e também com relação à atividade realizada pelos mesmos.

Tabela 13: Carga Tributária incidente sobre o transporte urbano

Macrocomponentes	Impostos, taxas e contribuições	Alíquota/Valor
Instalações	IPTU	1,00%
	TLP	N.A.
	TCFA	N.A.
	Taxa de Combate a Incêndio	N.A.
	Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública (CIP)	N.A.
Total Carga Tributária - Instalações		
Posse do Veículo	IPVA	2,63%
	DPVAT	396,49
	Licenciamento (TRLAV)	48,52
Total Carga Tributária - Posse do veículo		
Atividade	ISS	5,00%
	IRPJ	15,00%
	TGO	3,40%
	COFINS	0,00%
	PIS/PASEP	0,00%
	Contribuição Social do Empregador	2,00%
	CSLL	12%
Total Carga Tributária - Atividade da empresa		
Aquisição de Veículos	ICMS	12,0%
	IPI	10,0%
	PIS/PASEP	0,65%
	COFINS	3,00%
Combustível e Lubrificantes	ICMS	14,4%
	PIS/PASEP	0,65%
	COFINS	3,00%
	CIDE	R\$ 157,80/m3
Peças e Acessórios, Câmara de ar e Pneu	IPI	5,00%
	PIS/PASEP	0,65%
	COFINS	3,00%
Total Carga Tributária - Insumos veiculares		

Fonte: ANTP

No presente estudo, serão considerados, para fins de análise da viabilidade econômica das modalidades estudadas, os impostos relativos à atividade econômica em si, ou seja, são considerados os seguintes impostos:

Tabela 14: Carga Tributária Relativa à Atividade Econômica

Atividade	ISS	5,00%
	RPJ	15,00%
	TGO	3,40%
	COFINS	0,00%
	PIS/PASEP	0,00%
	Contribuição Social do Empregador	2,00%
	CSLL	12%

Fonte: ANTP

8.2 Resultados da Análise Econômica

Para a análise econômica comparativa das modalidades, foi elaborado o Demonstrativo de Fluxo de Caixa (DFC). Essa ferramenta, em conjunto com o Balanço Patrimonial e com o Demonstrativo de Resultado de Exercício, consiste em três das principais demonstrações contábeis.

A elaboração do Demonstrativo de Fluxo de Caixa pode ser executada por meio de método direto ou indireto. No primeiro, são abordadas as entradas e saídas que afetaram o caixa analisado, enquanto no segundo há a demonstração dos recursos a partir do lucro líquido apurado.

O presente estudo considerou o método direto na elaboração do DFC, dividindo a estrutura do mesmo em três grupos, conforme apresentado a seguir:

Fluxo das Operações
Receita de Vendas
Inadimplentes (10%)
ISS (5%)
TGO (3,4%)
Imposto de Renda (15%)
CSLL (12%)
Custos Operacionais
Manutenção de Veículos
Manutenção dos Trilhos
Eletricidade
Manutenção
Demais manutenções
Despesas salariais
Despesas não-salariais
Despesas operacionais
Fluxo dos Investimentos
Aquisição de Ativos
Fluxo dos Financiamentos
Empréstimos Bancários
Amortizações
Resultado do Fluxo de Caixa

Figura 14: Fluxo de Caixa Método Direto

Fonte: Elaboração Própria

A partir dessa estrutura e das premissas consideradas, foi feita uma análise de sensibilidade do Valor Presente Líquido de ambos projetos em relação a diferentes Taxas Mínimas de Atratividade. Os resultados resumidos dos dois projetos encontram-se na tabela a seguir:

Tabela 15: Resumo dos resultados obtidos a partir dos fluxos de caixa

	VLT		Maglev	
VPL (10%)	R\$	470,204,192.49	R\$	605,643,467.97
VPL (15%)	R\$	230,049,596.63	R\$	270,973,615.05
VPL (20%)	R\$	145,038,473.79	R\$	160,384,050.09
VPL (25%)	R\$	103,417,906.81	R\$	109,148,116.95
VPL (30%)	R\$	78,984,055.47	R\$	80,277,342.37
VPL (35%)	R\$	63,010,365.44	R\$	61,984,736.94
VPL (40%)	R\$	51,810,259.38	R\$	49,476,476.06
VPL (45%)	R\$	43,561,712.45	R\$	40,455,887.32
VPL (50%)	R\$	37,261,492.15	R\$	33,690,220.35
TIR_{Diferencial}	32.4%			

Fonte: Elaboração Própria

Plotando tais pontos em um gráfico, é possível visualizar melhor a referida análise de sensibilidade.

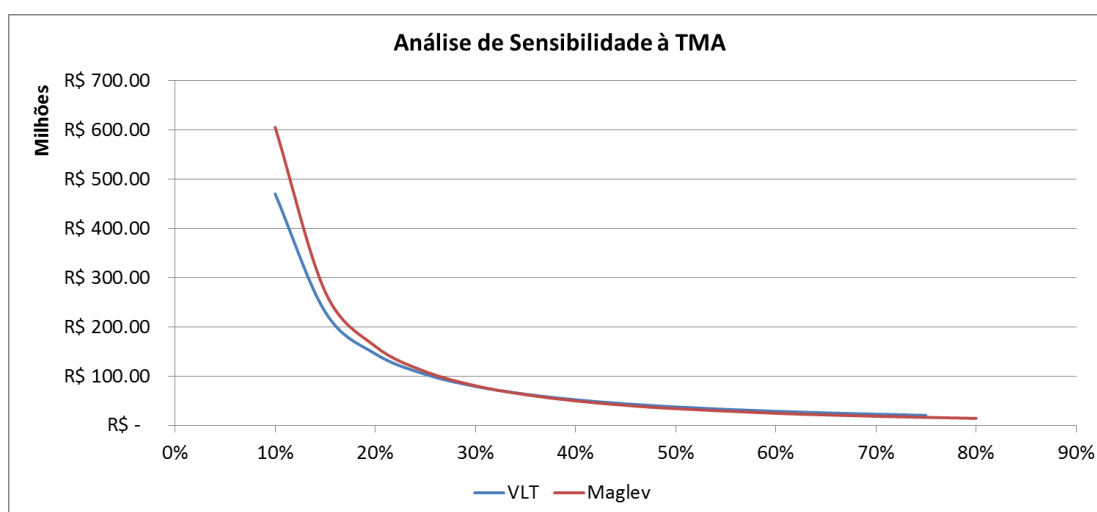


Figura 15: Análise de sensibilidade à variação da TMA

Fonte: Elaboração Própria

Através da análise desse gráfico e das informações contidas na tabela, é possível verificar que, para qualquer taxa de atratividade inferior a 32.4%, o Valor Presente Líquido do investimento no Maglev Cobra será maior do que aquele do Veículo Leve sobre Trilhos. O que representa intervalo bastante significativo de Taxas Mínimas de Atratividades possíveis.

Além do lado econômico, vale ressaltar que, ao considerarmos os impactos dos transportes nas diferentes regiões e também na qualidade de vida da população, faz-se necessário ampliar a análise comparativa para aspectos que se refiram aos benefícios qualitativos relacionados com os investimentos no VLT ou no Maglev. Desse modo, o próximo tópico se propõe a abordar tais benefícios de modo a proporcionar uma análise mais completa do efeito de optar por uma ou outra alternativa de transporte público.

9 COMPARATIVO DAS VANTAGENS DA TECNOLOGIA MAGLEV-COBRA X TECNOLOGIA VLT

Stephan (2007) apresenta um estudo comparativo das características técnicas dos projetos do Maglev-Cobra e de um VLT. A importância de todas as características que serão apresentadas é que elas impactam fortemente a estrutura de custos do projeto e, consequentemente, sua rentabilidade.

9.1 Peso dos veículos

Os meios de transporte rodoviários e ferroviários convencionais têm seu peso transmitido através de seus eixos, resultando em uma concentração de carga sobre a via, o que aumenta o desgaste e a necessidade de manutenção frequente, além de reduzir a vida útil do sistema. No caso do Maglev, o peso do veículo é distribuído ao longo dos blocos de supercondutores. Além disso, por não possuir motor, eixos ou chassis, o peso de um veículo Maglev é pelo menos 40% inferior ao de um VLT.

Tabela 16: Comparativo Maglev x VLT

Especificação	Unidade	MAGLEV	VLT
Densidade de Passageiros	Pessoas / m ²	4,00	4,00
Peso do Passageiro	kN	0,74	0,74
Largura interna	m	2,50	2,50
Carga de passageiros	kN/m	7,40	7,40
Tara do veículo	kN/m	1,96	2,94
Carga Total por metro	kN/m	9,36	10,34
Comprimento do veículo	m	40,00	40,00
Truques por veículo	un.	-	2,00
Peso dos truques e motores / eixo	kN	-	117,68
TOTAL Peso do Veículo sem passageiros	kN	78,40	352,96
TOTAL Peso do Veículo com passageiros	kN	374,40	648,96

Fonte: Estudo de uma via elevada para trens de levitação magnética (BEZERRA 2007)

9.2 Forma dos veículos

A ausência de eixos, motores nas composições e a otimização do peso conseguida com o projeto Maglev-Cobra proporcionam, como mencionado anteriormente, uma estrutura mais esbelta para o veículo, e com isso uma seção transversal 50% inferior à de um trem tradicional, além de praticamente circular, o que facilita o projeto de túneis para o sistema.

9.3 Peso da superestrutura da via permanente

O peso reduzido de um veículo com a tecnologia Maglev proporciona uma economia considerável de volume de concreto e aço das peças que compõem a superestrutura do sistema (lajes, vigas, pilares, sapatas, etc). Enquanto o peso da superestrutura de um sistema VLT é de aproximadamente 15 kN por metro linear, o peso da superestrutura do Maglev é inferior a 3 kN por metro linear, 20% daquela do VLT. Essa economia é muito relevante, pois os custos de infraestrutura e obras civis de uma via expressa representam mais de 70% de todo o custo de implantação do sistema (Bezerra2007)

9.4 Nível de vibração e ruídos

Como o Maglev Cobra levita sobre um campo magnético, não havendo contato físico entre o veículo e os trilhos, o nível de vibração no sistema é bastante reduzido. A inexistência de atrito reduz também a ocorrência de fadiga dos materiais e possibilita a utilização de componentes mais esbeltos e leves do que os normalmente usados em veículos ferroviários tradicionais; além de produzir menores níveis de ruídos, o que é muito importante em projetos de sistemas de transporte que cruzam o interior das cidades. Tais fatores aumentam a sensação de conforto do usuário e com isso o sistema torna-se mais atrativo.

9.5 Liberdade de movimentos

A estrutura composta por pequenos módulos (de 1,5 m) com que é feito o veículo do projeto Maglev-Cobra permite a realização de curvas mais fechadas (30 m de raio), enquanto que os sistemas metroviários tradicionais exigem curvas com raios superiores a 250 m. Dessa forma, o trajeto de um sistema que utiliza a tecnologia Maglev poderá acompanhar mais facilmente a forma das vias preexistentes. Além disso, pelo mesmo motivo, mudanças de direção são mais fáceis do que no modo mecânico tradicional.

O motor linear e o peso reduzido do veículo permitem a construção de vias mais inclinadas (até 15% de inclinação, comparados a 4% dos sistemas friccionados). Isso tem grande relevância, pois faz com que a necessidade de construção de túneis e viadutos seja bastante reduzida.

9.6 Desempenho energético e ambiental

Segundo Bezerra (2007), o setor de transporte pode representar até 50% do consumo de energia mundial. Nesse sentido, alternativas sustentáveis de transporte, com baixo consumo de energia e elevada performance, devem ser priorizadas quando se opta por um ou outro sistema.

O projeto do Maglev Cobra busca incorporar desde o início soluções sustentáveis ou de baixo consumo energético para todo o sistema. Desde os terminais de passageiros até o suprimento de energia para os trens e principalmente para o motor linear, localizado nas vias, que seria alimentado somente nos trechos por onde o trem estivesse passando, num sistema inteligente e integrado. Bezerra (2007) afirma que um Maglev, transportando 360 passageiros, necessitaria de uma potência inferior a 50 HP para ter uma aceleração de $1,0 \text{ m/s}^2$ e manter uma velocidade constante de 100 km/h no plano e tangente, 10% da potência exigida pelo sistema VLT para o mesmo desempenho. Segundo STEPHAN (2012), o MagLev apresenta um custo energético por passageiro-quilômetro equivalente a apenas 13% do consumo médio de um ônibus urbano, gerando uma economia de 87% no item que representa cerca de 30% do custo operacional.

Tanto o VLT quanto o Maglev são movidos à energia elétrica, que representa uma alternativa com baixa emissão de poluentes. No entanto, uma vez que a potência exigida pelo Maglev é menor, o impacto no meio ambiente será também inferior àquele provocado por um VLT. Ainda há poucos dados sobre as emissões por veículos Maglev de baixa velocidade, mas o gráfico a seguir mostra que a quantidade de poluentes emitidos pelo Maglev de alta velocidade, em comparação com automóveis ou aviões, é praticamente nula.

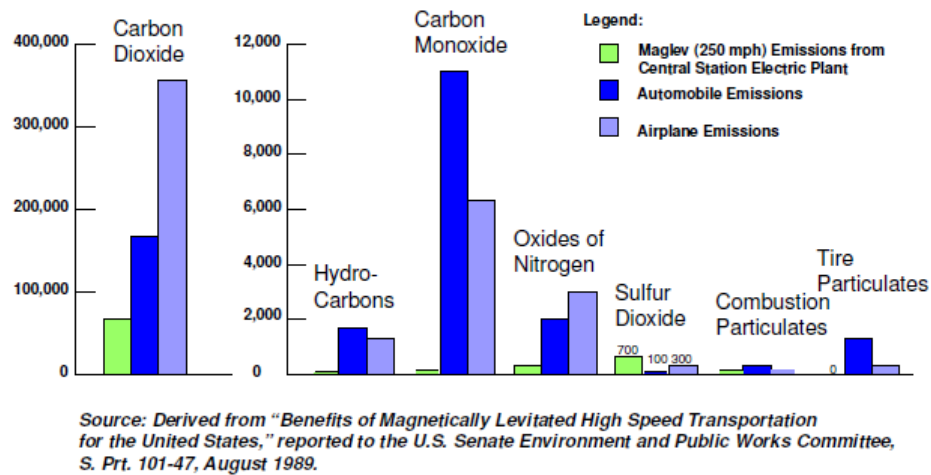


Figura 16: Emissões de poluentes dos principais meios de transporte

Fonte: Benefits of Magnetically Levitated High Speed Transportation for the United States

9.7 Vantagens de uma construção em via elevada

A concepção do projeto Maglev em vias elevadas permite uma velocidade comercial média superior àquela conseguida por um Veículo Leve sobre Trilhos, uma vez que não há cruzamentos ou sinais de trânsito e, portanto, a interferência sobre os trânsito de veículos é mínima, com redução importante na quantidade de acidentes ocorridos ao longo do trajeto.

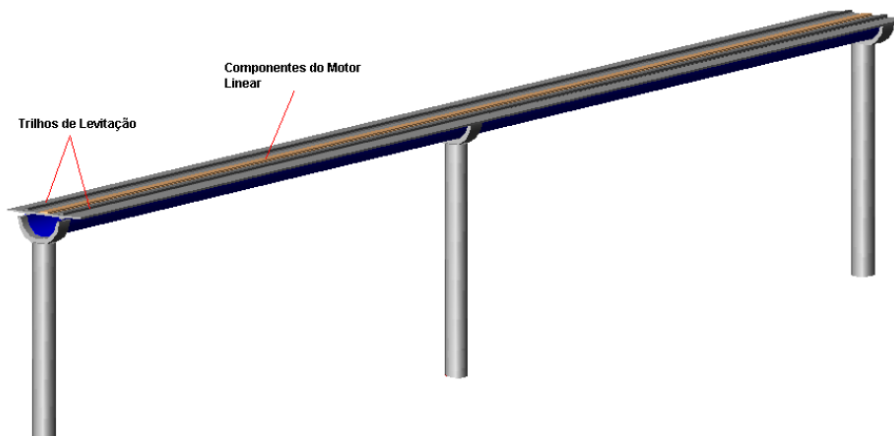


Figura 17: Projeção 3D da estrutura em via elevada para trens Maglev

Fonte: Bezerra 2007

Além disso, diminui os custos com desapropriações na fase de construção devido ao fato de ocupar uma área menor do solo urbano.

9.8 Incentivo à indústria nacional

O Maglev Cobra possui tecnologia majoritariamente nacional. Se difundido por outras partes do país, poderá desenvolver uma indústria nacional de ímãs de terras raras, supercondutores de alta temperatura crítica, motor linear e demais componentes tecnológicos, além de diminuir a dependência dos insumos externos. O Brasil é um país rico em reservas de terras raras, apresentando grande potencial para a produção desse material, que hoje é importado (sobretudo da China) e é um componente de custo muito importante do projeto e cujos preços vem sofrendo grandes flutuações ao longo dos anos.

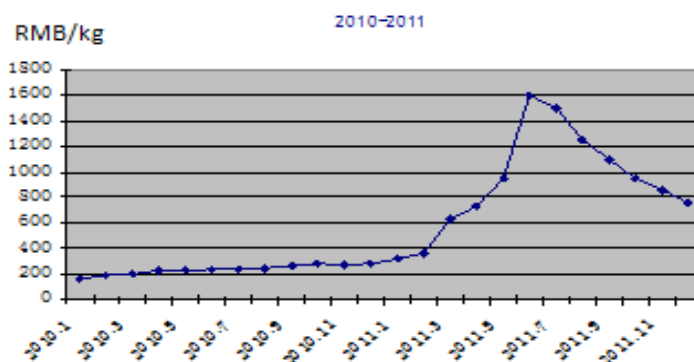


Figura 18: Evolução do preço dos ímãs de Nd

Fonte: Relatório de custos do Maglev-Cobra

10 CONCLUSÃO

Ao longo do presente estudo, foi possível verificar a dimensão da importância que a infraestrutura de transporte possui no contexto de vida de toda a população, como, por exemplo, em relação aos gastos destinados para se locomover e, também, em relação à qualidade da acessibilidade que as pessoas enfrentam em seus deslocamentos diários.

Além desse aspecto, a cidade do Rio de Janeiro irá ser a sede de diferentes eventos internacionais ao longo dos próximos anos, como a Copa do Mundo de 2014 e as Olimpíadas de 2016, projetando ainda mais o Brasil no cenário internacional e recebendo grande número de pessoas.

Desse modo, estudar novas alternativas em mobilidade urbana possui cada vez maior relevância, assumindo papel fundamental no curto, médio e longo prazo, de modo a garantir a acessibilidade e o conforto da população durante seus deslocamentos, com menor tempo despendido nesse fim.

Um dos grandes desafios é buscar alternativas que permitam extrair o melhor de cada meio de transporte, subterrâneo ou na superfície, e, nesse aspecto, a utilização de sistemas que não estejam competindo pelo mesmo espaço auxilia na gestão mais eficiente do trânsito, muito presente em grandes cidades como o Rio de Janeiro.

A questão dos transportes nas grandes cidades brasileiras é estratégica e para resolvê-la é necessário quebrar os paradigmas existentes e apostar em soluções inovadoras e sustentáveis. Somente tendo-se uma rede de transportes que funcione independentemente do trânsito já complicado e que ofereça ótimas condições de conforto e segurança, a baixos custos, será possível atrair aqueles que sempre optaram pelo transporte individual, e começar a se imaginar uma cidade pensada para as pessoas e não para automóveis, com maior qualidade de vida para todos.

Conforme foi verificado ao longo do presente estudo, a tecnologia do Maglev-Cobra demonstrou ser uma ótima alternativa à questão do transporte público urbano, tanto do ponto de vista econômico quanto à luz dos aspectos técnicos relacionados.

O Veículo Leve sobre Trilhos é uma adaptação moderna dos tradicionais sistemas ferroviários. No entanto, conserva muitos de seus principais problemas: elevados gastos com manutenção e troca do material rodante, alta taxa de ocupação do solo urbano, elevado índice

de acidentes, paradas em cruzamentos com redução da velocidade comercial, altos níveis de vibração e ruídos etc.

O projeto do Maglev-Cobra HTS é uma alternativa moderna e que promete resolver a maior parte dos problemas mais comuns dos meios de transporte tradicionais, sendo a solução mais ecológica, econômica, técnica, política e socialmente correta. No entanto, é importante ressaltar que uma verdadeira comparação só será efetivamente possível a partir dos resultados obtidos com o início do funcionamento da linha de teste CT1-CT2, pois os dados utilizados neste artigo são estimativas a partir de outros projetos em nível mundial.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BEZERRA (2007) – Estudo de uma via elevada para trens de levitação magnética.

DAVID, E.;STEPHAN, R.; DAVID, R. (2007 - a) - Vantagens do Trem de Levitação Magnética na Interligação de Pólos Geradores de Viagens – CONINFRA 2007, São Paulo.

DAVID, E.;STEPHAN, R.; DAVID, R. (2007 - b) - Vantagens da Implantação de uma Linha Experimental do MAGLEV no Campus da UFRJ na Ilha do Fundão - V Rio de Transportes,v.5. p.1 – 11.

General Atomics (2005) - Comparison of Urban Maglev to Freeways, Light Rail, and People Mover

GUROL (2009) - General Atomics Urban Maglev: Moving Towards Demonstration

KEATTS, A. (2013). One of the best light rail lines in the country.

LERNER, Jaime (2009). Avaliação comparativa das modalidades de transporte público urbano.

MOON, F.C. (1994) - Superconducting Levitation, John Willy & Sons Inc., New York, USA.

PASTORI, A. - A inovação tecnológica “verde” e seus possíveis efeitos na matriz de transportes do Brasil – considerações sobre o veículo de levitação magnética supercondutora (Maglev-Cobra).

RASCHBICHLER, M. (2006) - Transrapid in the Context of Urban and Regional Transport Planning – MAGLEV’06 – pp. 717-720 – Dresden, Alemanha.

SINERGIA ESTUDOS E PROJETOS LTDA - Estudo Preliminar e Provisório de Demanda para o Sistema de Veículo Leve Sobre Trilhos na Região Portuária e Centro do Rio de Janeiro.

STEPHAN, R.M;DE ANDRADE, R. ; FERREIRA, A.C (2012) - Superconducting Light Rail Vehicle: A Transportation Solution for Highly Populated Cities.

<http://www.portomaravilha.com.br>, acessado em 2/11/2013.

<http://www.antp.org.br>, acessado em 4/11/2013.

<http://www.maglevcobra.coppe.ufrj.br/>, acessado em 5/11/2013.

<http://www.rio.gov.br>, acessado em 8/11/2013.

ANEXO I: ELASTICIDADE DA DEMANDA (CENÁRIOS)

	Coletivo				Individual				Receita Individual + Coletivo
	P	D	Demanda (2016)	Receita	P	D (2016)	Demanda (2016)	Receita	
0%	R\$ 2.50	100.0%	66667	R\$ 166,667.50	R\$ 2.50	100.0%	66667	R\$ 166,667.50	R\$ 333,335.00
5%	R\$ 2.63	98.5%	65667	R\$ 172,375.86	R\$ 2.63	99.5%	66334	R\$ 174,125.87	R\$ 346,501.73
10%	R\$ 2.75	97.0%	64667	R\$ 177,834.22	R\$ 2.75	99.0%	66000	R\$ 181,500.91	R\$ 359,335.13
15%	R\$ 2.88	95.5%	63667	R\$ 183,042.58	R\$ 2.88	98.5%	65667	R\$ 188,792.61	R\$ 371,835.19
20%	R\$ 3.00	94.0%	62667	R\$ 188,000.94	R\$ 3.00	98.0%	65334	R\$ 196,000.98	R\$ 384,001.92
25%	R\$ 3.13	92.5%	61667	R\$ 192,709.30	R\$ 3.13	97.5%	65000	R\$ 203,126.02	R\$ 395,835.31
30%	R\$ 3.25	91.0%	60667	R\$ 197,167.65	R\$ 3.25	97.0%	64667	R\$ 210,167.72	R\$ 407,335.37
35%	R\$ 3.38	89.5%	59667	R\$ 201,376.01	R\$ 3.38	96.5%	64334	R\$ 217,126.09	R\$ 418,502.09
40%	R\$ 3.50	88.0%	58667	R\$ 205,334.36	R\$ 3.50	96.0%	64000	R\$ 224,001.12	R\$ 429,335.48
45%	R\$ 3.63	86.5%	57667	R\$ 209,042.71	R\$ 3.63	95.5%	63667	R\$ 230,792.82	R\$ 439,835.53
50%	R\$ 3.75	85.0%	56667	R\$ 212,501.06	R\$ 3.75	95.0%	63334	R\$ 237,501.19	R\$ 450,002.25
55%	R\$ 3.88	83.5%	55667	R\$ 215,709.41	R\$ 3.88	94.5%	63000	R\$ 244,126.22	R\$ 459,835.63
60%	R\$ 4.00	82.0%	54667	R\$ 218,667.76	R\$ 4.00	94.0%	62667	R\$ 250,667.92	R\$ 469,335.68
65%	R\$ 4.13	80.5%	53667	R\$ 221,376.11	R\$ 4.13	93.5%	62334	R\$ 257,126.29	R\$ 478,502.39
70%	R\$ 4.25	79.0%	52667	R\$ 223,834.45	R\$ 4.25	93.0%	62000	R\$ 263,501.32	R\$ 487,335.77
75%	R\$ 4.38	77.5%	51667	R\$ 226,042.80	R\$ 4.38	92.5%	61667	R\$ 269,793.02	R\$ 495,835.81
80%	R\$ 4.50	76.0%	50667	R\$ 228,001.14	R\$ 4.50	92.0%	61334	R\$ 276,001.38	R\$ 504,002.52
85%	R\$ 4.63	74.5%	49667	R\$ 229,709.48	R\$ 4.63	91.5%	61000	R\$ 282,126.41	R\$ 511,835.89
90%	R\$ 4.75	73.0%	48667	R\$ 231,167.82	R\$ 4.75	91.0%	60667	R\$ 288,168.11	R\$ 519,335.93
95%	R\$ 4.88	71.5%	47667	R\$ 232,376.16	R\$ 4.88	90.5%	60334	R\$ 294,126.47	R\$ 526,502.63
100%	R\$ 5.00	70.0%	46667	R\$ 233,334.50	R\$ 5.00	90.0%	60000	R\$ 300,001.50	R\$ 533,336.00
105%	R\$ 5.13	68.5%	45667	R\$ 234,042.84	R\$ 5.13	89.5%	59667	R\$ 305,793.20	R\$ 539,836.03
110%	R\$ 5.25	67.0%	44667	R\$ 234,501.17	R\$ 5.25	89.0%	59334	R\$ 311,501.56	R\$ 546,002.73
115%	R\$ 5.38	65.5%	43667	R\$ 234,709.51	R\$ 5.38	88.5%	59000	R\$ 317,126.59	R\$ 551,836.09
120%	R\$ 5.50	64.0%	42667	R\$ 234,667.84	R\$ 5.50	88.0%	58667	R\$ 322,668.28	R\$ 557,336.12
125%	R\$ 5.63	62.5%	41667	R\$ 234,376.17	R\$ 5.63	87.5%	58334	R\$ 328,126.64	R\$ 562,502.81
130%	R\$ 5.75	61.0%	40667	R\$ 233,834.50	R\$ 5.75	87.0%	58000	R\$ 333,501.67	R\$ 567,336.17
135%	R\$ 5.88	59.5%	39667	R\$ 233,042.83	R\$ 5.88	86.5%	57667	R\$ 338,793.36	R\$ 571,836.19
140%	R\$ 6.00	58.0%	38667	R\$ 232,001.16	R\$ 6.00	86.0%	57334	R\$ 344,001.72	R\$ 576,002.88
145%	R\$ 6.13	56.5%	37667	R\$ 230,709.49	R\$ 6.13	85.5%	57000	R\$ 349,126.75	R\$ 579,836.23
150%	R\$ 6.25	55.0%	36667	R\$ 229,167.81	R\$ 6.25	85.0%	56667	R\$ 354,168.44	R\$ 583,336.25
155%	R\$ 6.38	53.5%	35667	R\$ 227,376.14	R\$ 6.38	84.5%	56334	R\$ 359,126.80	R\$ 586,502.93
160%	R\$ 6.50	52.0%	34667	R\$ 225,334.46	R\$ 6.50	84.0%	56000	R\$ 364,001.82	R\$ 589,336.28
165%	R\$ 6.63	50.5%	33667	R\$ 223,042.78	R\$ 6.63	83.5%	55667	R\$ 368,793.51	R\$ 591,836.29
170%	R\$ 6.75	49.0%	32667	R\$ 220,501.10	R\$ 6.75	83.0%	55334	R\$ 373,501.87	R\$ 594,002.97
175%	R\$ 6.88	47.5%	31667	R\$ 217,709.42	R\$ 6.88	82.5%	55000	R\$ 378,126.89	R\$ 595,836.31
180%	R\$ 7.00	46.0%	30667	R\$ 214,667.74	R\$ 7.00	82.0%	54667	R\$ 382,668.58	R\$ 597,336.32
185%	R\$ 7.13	44.5%	29667	R\$ 211,376.06	R\$ 7.13	81.5%	54334	R\$ 387,126.94	R\$ 598,502.99
190%	R\$ 7.25	43.0%	28667	R\$ 207,834.37	R\$ 7.25	81.0%	54000	R\$ 391,501.96	R\$ 599,336.33
195%	R\$ 7.38	41.5%	27667	R\$ 204,042.69	R\$ 7.38	80.5%	53667	R\$ 395,793.65	R\$ 599,836.33
200%	R\$ 7.50	40.0%	26667	R\$ 200,001.00	R\$ 7.50	80.0%	53334	R\$ 400,002.00	R\$ 600,003.00
205%	R\$ 7.63	38.5%	25667	R\$ 195,709.31	R\$ 7.63	79.5%	53000	R\$ 404,127.02	R\$ 599,836.33
210%	R\$ 7.75	37.0%	24667	R\$ 191,167.62	R\$ 7.75	79.0%	52667	R\$ 408,168.71	R\$ 599,336.33

Fonte: Elaboração própria